

المعادن

اللاحديدية وسبائكها









الأستاذ الدكتور

قحطان خلف الخزرجي



المعادن اللاحديدية وسبائكها

المعادن اللاحديدية وسبائكها

تأليف

أ. د. قحطان خلق الخزرجي

أستاذ هندسة المواد

الطبعة الأولى

2009م - 1430هـ



المحتويات

الفصل الأول **1**

المعادن الخفيفه وسبائكها **1**

LIGHT METALS AND THEIR ALLOYS **1**

1–المقدمة:– 3

1–1–الألمنيوم :AL 3

1–1–1– عناصر السبك في الألمنيوم : Alloying Elements in Al *4*

1–1–2– سبائك الألمنيوم –النحاس : Al - Cu - Alloys *5*

1-1-3- سبائك الألمنيوم – السليكون :Al - Si - Alloys *6*

1-1-4- سبائك الألمنيوم –المغنيسيوم : Al - Mg - Alloys *7*

1-1-5- تصنيف سبائك الألمنيوم : Classification of Al- Alloys *7*

1-2- المغنسيوم: MG 8

1-2-1- عناصر السبك في المغنسيوم : Alloying Elements in Mg *8*

1-2-2- سبائك المغنسيوم – الألمنيوم : Mg - Al - Alloys *9*

1-2-3- سبائك المغنسيوم الأخرى : Other Mg - Alloys *10*

1-3- التيتانيوم وسبائكه : TI AND ITS ALLOYS 11

1-4- البريليوم : BE 13

1-5- الزركون : ZR 14

1-6- أهمية المعادن الخفيفة وسبائكها كمواد هندسية : 15

المقدمة **16**

الفصل الثاني..**19**

النحاس والنيكل وسبائكهما...**19**

COPPER AND NICKEL AND THEIR ALLOYS.............................**19**

1– المقدمة :– 20

1-1- النحاس النقي (Pure Copper) :– 21

1-1-1- سبائك النحاس – الزنك : (Brasses) Cu - Zn - Alloys....................*23*

1-1-2- سبائك النحاس والقصدير : (Bronzes) Cu-Sn-Alloys.......................*27*

1-2- النيكل النقي : Pure Nickel 30

1-2-1- سبائك النيكل : Nickel Alloys...*30*

الفصل الثالث **35**

معادن وسبائك لاحديدية مختلفة..**35**

MISCELLANEOUS NON-FERROUS METALS AND ALLOYS.........**35**

1– المقدمة :– 37

1-1- المعادن البيضاء : White Metals..37

1-1-1- الرصاص وسبائكه : Pb and its Alloy......................................*38*

1-1-2- القصدير وسبائكه : Sn and its Alloys.....................................*39*

1-1-3-الزنك وسبائكه : Zn and its Alloys.......................................*41*

1-2- المعادن الثمينة : Precious Metals...42

1-2-1- الفضة وسبائكها : Silver and its Alloys..................................*42*

1-2-2- الذهب وسبائكه : Au and its Alloys......................................*43*

1-2-3- البلاتين وسبائكه : Pt and its Alloys.....................................*44*

3-1- معادن أخرى : OTHER METALS 46

1-3-1- التنجستن والمولبدنوم : W and Mo *46*

1-3-2- الكوبالت وسبائكه : Co and its Alloys *46*

1-3-3- الفناديوم : V *47*

1-3-4- البورون : B *48*

1-4- المعادن النادرة والسبائك الفائقة : 48

UNCOMMON METALS AND SUPER ALLOY 48

1-4-1- المعادن النادرة : Rare Metals *48*

الفصل الرابع **51**

سبائك المحامل **51**

BEARING ALLOYS **51**

1– المقدمة:– 53

1-1- المحامل الصنعةمن السبائك النحاسيةالأساس (برونزاتالمحامل): BEARING BRONZES 55

1-2- المحامل المصنعة من سبائك المعادن البيضاء:WHITE METAL BEARINGS 56

1-4- المحامل المصنعةمن السبائك ذات الأساس من الألمنيوم:AL- BEARINGS 58

1-5- المحامل الفضية : SILVER BEARINGS 59

1-6- المحامل الثلاثية الطبقات :– TRIMETAL BEARINGS 59

1-7- المحامل الذاتية التزييت : SELF-LUBRICANT BEARINGS 59

1-8- المحامل اللامعدنية أو المحامل الجافة : 59

DRY-OR NONMETALLIC BEARINGS 59

ملحق الأشكـال **85**

مصادر الكتاب...**104**

مصادر الكتاب العربية...104

مصادر الكتاب الانكليزية...104

الفصل الأول
المعادن الخفيفه وسبائكها
Light Metals and Their Alloys

الفصل الاول

المعادن الخفيفه وسبائكها

Light Metals and Their Alloys

1-المقدمة:-

اكتسبت المعادن الخفيفه أهمية بالغة كمواد هندسية في السنوات الآخيرة، فلقد ازداد استعمالها في معدات النقل والطائرات والأغراض الإنشائية.
تمتاز هذه المعادن الخفيفة الوزن بمقاومة عالية بما يكفي لغرض الاستعمال للأغراض الإنشائية. لقد أتسع مجال استعمال هذه المعادن وسبائكها بعد اكتشاف المعاملة الحرارية المسماة بالأصلاد بالترسيب والأزمان أو التقادم.
يعتبر الألمنيوم والمغنيسيوم أساس السبائك الخفيفه والتي تشمل أيضاً سبائك التيتانيوم الذي له وزن نوعي أقل بكثير من الفولاذ. سنناقش في هذا الفصل أهم هذه المعادن وسبائكها وخواصها ومعاملاتها الحرارية.

1-1-الألمنيوم : Al

يمتاز الألمنيوم بوزن نوعي منخفض لا يتجاوز (2.71 غم /سم^3) ويعتبر نقياً تجارياً بنسبة (99.0%) إضافة إلى كميات قليلة من الحديد والسيلكون. تبلغ مقاومة شد الألمنيوم في حالة التخمير حوالي (89.57 نيوتن /ملم2) ومطيليته حوالي (40.0%). يقبل الألمنيوم التشكيل على البارد بسهولة ويتصلد نتيجة لذلك وترتفع مقاومة شده إلى حوالي (165.36نيوتن /ملم^2). ويكتسب الألمنيوم أهمية خاصة نتيجة مقاومته

الجيدة ضد التأكسد والتآكل . ويعود سبب هذه المقاومة إلى تكوين قشرة رقيقة من أوكسيد الألمنيوم على سطحه تقاوم التأكسد والتآكل وتمنع نفاذه إلى داخل المعدن. يتوفر الألمنيوم عادة على شكل صفائح وألواح وقضبان وأنابيب وأسلاك وما إليها. ويكثر استعمال الألمنيوم أيضاً في الاصباغ، كما يستعمل كعامل مزيل للأوكسجين من الفولاذ. يمتاز أيضاً بتوصيله الكهربائي الجيد الذي يساوي حوالي (61.0%) من التوصيل الكهربائي للنحاس محسوباً على أساس الحجم،وحوالي (200.0%) محسوباً على أساس الوزن. ويكثر استعمال سبائك الألمنيوم بشكل أساسي للأغراض الإنشائية.

1-1-1- عناصر السبك في الألمنيوم : Alloying Elements in Al

أهم عناصر السبك التي تضاف إلى الألمنيوم هي النحاس والسليكون والمغنيسيوم والمنغنيز، كما يضاف أحياناً الزنك والنيكل والكروم. ويتجسد تأثير هذه العناصر في زيادة مقاومة الألمنيوم (الشد والخضوع) وزيادة صلادته مع انخفاض في مطيليته. يمكن تحسين الخواص الميكانيكية للألمنيوم وسبائكه بالأساليب الآتية :-

1- الأصلاد بتكوين المحلول الجامد. Solid - Solution Hardening

2- الأصلاد بالترسيب والأزمان. Precipitation - and Age - Hardening

3-الأصلاد الإجهادي بالتشكيل على البارد. Strain - Hardening

يكوّن النحاس عنصر السبك الأساس في الالمنيوم، ويضاف بمقادير تصل إلى (4.0%) في السبائك المشكله (Wrought Alloys) والى حوالي (8.0%) في السبائك المسبوكة. ويتجسد أهم تأثيرات النحاس في التقليل من الميل إلى الانكماش والى التشقق الساخن (Hot Shortness) وتكوين سبائك مع الألمنيوم قابلة للأصلاد بالترسيب والأزمان.

يحتل السليكون المرتبة الثانية من الأهمية كعنصر سبك في الألمنيوم وخاصة في السبائك المسبوكة. ويضاف بمقادير تتراوح بين (1.0 - 14.0%) كعنصر سبك رئيسي أو ثانوي. يحسن السليكون خواص السباكة في الألمنيوم، مثل السيولة والخلو من التشقق الساخن، كما أنه يحسن من مقاومة الألمنيوم ضد التآكل ويخفض من تمدده الحراري ويحسن توصيله الكهربائي.

يضاف المغنيسيوم إلى الألمنيوم بنسب تتراوح بين (1.0 - 10.0%)، تمتاز السبائك الناتجة بكونها أخف وزناً من الألمنيوم نفسه، وتزداد مقاومتها ضد التآكل في الماء المالح والقواعد بازدياد نسبة المغنيسيوم فيها. كما أنها تمتاز بخواص ميكانيكية جيدة وقابلية تشغيل عالية.

يضاف الزنك أحياناً بنسب تصل إلى حوالي (10.0%) مع عناصر أخرى الى الألمنيوم لغرض تحسين الخواص الميكانيكية من خلال تكوين مركبات شبه معدنية صلدة مثل (Mg_2Zn).

ويضاف كل من المنغنيز والكروم بكميات قليلة الى الألمنيوم لتحسين مقاومة الشـد والمقاومة ضد التآكل.

ويضاف كل من الرصاص والبزموث لتحسين قابلية التشغيل في بعض سبائك الألمنيوم،كما يضاف كل من التيتانيوم والكولومبيوم بكميات قليلة كعوامل مساعدة على تصغير الحجم الحبيبي في سبائك أخرى.

2-1-1- سبائك الألمنيوم -النحاس : Al - Cu - Alloys

الشكل رقم (1) يبين الجزء الغني بالألمنيوم من مخطط أطوار الألمنيوم - النحاس. تنخفض قابلية ذوبان النحاس في الألمنيوم من (5.7%) في

درجة (548مْ) إلى حوالي (0.2%) في درجة حرارة الغرفة. ولا تتجاوز نسبة النحاس في السبائك الهامة عملياً نسبة (10%). تتحسن الخواص الميكانيكية في كافة سبائك الألمنيوم - النحاس المشكله ذات نسبة (4.0%) من النحاس بوساطة معاملة الأصلاد بالترسيب، حيث يتم ترسيب طور (θ)، أي ($CuAl_2$)، من المحلول الجامد ($\propto$). الشكل رقم (2) يبين العلاقة بين الصلادة الناتجة من معاملة عدد من سبائك الألمنيوم - النحاس بنسب مختلفة من النحاس بمعاملة الأصلاد بالترسيب وبين الفترة الزمنية لإعادة التسخين والإفراط في الفترة الزمنية.

تنخفض مقاومة تآكل الألمنيوم بإضافة النحاس بشكل بالغ، وتعتبر سبائك الألمنيوم - النحاس أقل سبائك الألمنيوم مقاومة ضد التآكل.

3-1-1- سبائك الألمنيوم - السليكون : Al - Si - Alloys

الشكل رقم (3) يبين الجزء الغني بالألمنيوم من مخطط اطوار الألمنيوم-السليكون. تنخفض قابلية السليكون في الألمنيوم من (1.65%) في درجة حرارة (577 مْ) إلى حوالي الصفر في درجة حرارة الغرفة. تتكون سبيكة اليوتكتك في نسبة (11.6%) من السليكون وفي درجة (577 مْ)، وهي المسؤولة عن ارتفاع صلادة كافة سبائك الألمنيوم - السليكون المسبوكة. لا يضاف السليكون عادة بنسب تتجاوز (14.0%) إلى الألمنيوم. الشكل رقم (4) يبين تأثير النسب المختلفة من السليكون على الخواص الميكانيكية لسبائك الألمنيوم - السليكون المسبوكة. لا تستعمل معاملة الأصلاد بالترسيب لأصلاد هذه السبائك. تمتاز سبائك الألمنيوم - السليكون المشكله وذات نسبة (12.5%) سليكون بقابلية جيدة على الحدادة، كما تمتاز بانخفاض معامل تمددها الحراري. وتمتاز

سبائك الألمنيوم - السليكون المسبوكة بقابليتها الممــتازة على السباكة ومقاومة التآكل. تستعمل السبائك ذات نسبة (%12.0) و(%5.0) سليكون للمسبوكات ذات الأشكال المعقدة ولعلب حفظ المواد الغذائية.

1-1-4- سبائك الألمنيوم -المغنيسيوم : Al - Mg - Alloys

الشكل رقم (5) يبين الجزء الغني بالألمنيوم من مخطط أطوار الألمنيوم - المغنيسيوم. تنخفض قابلية ذوبان المغنيسيوم في الألمنيوم من حوالي (%14.9) في (452مْ) إلى حوالي (%1.0) في درجة حرارة الغرفة. بالإمكان أصلاد هذه السبائك بالترسيب، وذلك بترسيب طور (β) في المحلول الجامد

(∝). ويضاف المغنسيوم عادة بنسب تصل إلى(%10.0) إلى الألمنيوم. تنخفض قابلية سباكة الألمنيوم إضافة المغنسيوم إليه وذلك بسبب سهولة تأكسد أسطح السبائك الناتجة وتعرضها بسهولة إلى عيوب السباكة المختلفة مثل الانكماش والمسامية الغازية. وتمتاز سبائك الألمنيوم المغنسيوم بأقصى مقاومة ضد التآكل في الماء المالح والقواعد من بين كافة سبائك الألمنيوم وتنخفض هذه المقاومة لدى وجود الشوائب في السبيكة.

1-1-5- تصنيف سبائك الألمنيوم : Classification of Al- Alloys

تصنف سبائك الألمنيوم بشكل عام الى قسمين أساسيين :-

1- سبائك الألمنيوم المشكلة. Wrought Alloys

2- سبائك الألمنيوم المسبوكة. Cast Alloys

الجدولان رقم (1) و (2) يبينان عدداً من سبائك الألمنيوم المشكلة والمسبوكة على التوالي مع بيان المعاملات الحرارية الخاصة والخواص الميكانيكية الناتجة بعد المعاملة الحرارية.

1-2- المغنسيوم: Mg

للمغنسيوم النقي تجارياً (99.8%) وزن نوعي مقداره (1.74غم/سم^3)، وتبلغ مقاومة شده في حالة التخمير التام حوالي (156.1 نيوتن/ملم^2) مع استطالة مقدارها (15.0%). وترتفع هذه المقاومة الى حوالي (254.9نيوتن/ملم^2) بالتشكيل على البارد، الذي لا يكون سهلاً عادة. يستعمل المغنسيوم النقي بكثرة في السبائك ذات الأساس من المغنسيوم، وكعامل مزيل للأوكسجين وعنصر سبك في المعادن اللاحديدية. كما يستعمل المغنسيوم النقي بكميات كبيرة في إنتاج المفرقعات والقنابل. وتستعمل سبائك المغنسيوم عادة وبعكس المغنسيوم النقي للأغراض الإنشائية. أن ميزة المغنسيوم المتمثلة في انخفاض وزنه النوعي تقابلها خاصيتان رديئتان فيه، هما سهولة التأكسد والافتقار إلى الجسوءة (Rigidity)، حيث أن معامل مرونة المغنسيوم لا تتجاوز (44.8×10^3نيوتن /ملم^2) مقارنة مع (70.97×10^3) و (203.26×10^3) لكل من الألمنيوم والفولاذ على التوالي.

تكون مقاومة المغنسيوم وسبائكه منخفضة ضد التآكل، خاصة في الماء المالح والأجواء المالحة، لذا فلا بد من حمايته بتغطية سطحه. ويجري ذلك عادة إما بتغطيسه في حوض من البيكرومات أو بطريقة الحماية الأنودية (Anodic Protection).

1-2-1- عناصر السبك في المغنسيوم : Alloying Elements in Mg

أهم عناصر السبك المضافة إلى المغنسيوم هي الألمنيوم والزنك والمنغنيز والقصدير والسليكون. ويعتبر الألمنيوم، الذي يضاف بنسب تتراوح بين (3.0 - 10.0%)، عنصر السبك الأساس في المغنسيوم، وهو يزيد الصلادة

والمقاومة ويحسن من قابلية السباكه. تؤدي الأضافات من الألمنيوم التي تفوق (10.0%) إلى تقصف سبائك المغنسيوم - الألمنيوم.

يضاف الزنك مع الألمنيوم إلى السبائك ذات الأساس من المغنسيوم وذلك بنسب تصل إلى حوالي (30%) لغرض تحسين المقاومة ضد التآكل في الماء المالح ولتحسين قابلية السباكة. تسبب النسب الأعلى من الزنك التقصف والمسامية الغازية بسبب تكوين المركب شبه المعدني ($MgZn_2$).

ويضاف المنغنيز بنسب قليله لا تتجاوز (0.5%) إلى سبائك المغنسيوم وذلك لغرض تحسين المقاومة ضد التآكل وتحسين قابلية اللحام دون أن تؤثر في الخواص الميكانيكية.

لا يقبل السليكون الذوبان في المغنسيوم ولـكنه يكون المركب (Mg_2Si) الذي يزيد من صلادة السبائك. ولا يضاف السليكون بنسب تتجاوز (0.3%) وذلك لتفادي التقصف الشديد.

يذوب القصدير في المغنسيوم بنسب تصل إلى حوالي (15.0%)في درجة (649 مْ)، وتنخفض قابلية الذوبان بسرعة لدى التبريد إلى درجـــة حـــرارة الغرفة مع ترسيب طور (β) الذي يتكون من المركب (Mg_2Sn).

1-2-2- سبائك المغنسيوم - الألمنيوم : Mg - Al - Alloys

الشكل رقم (6) يبين الجزء الغني بالمغنسيوم من مخطط أطوار المغنسيوم- الألمنيوم تنخفض قابلية ذوبان الألمنيوم في المغنسيوم من حوالي (12.7%) في درجة (437 مْ) إلى حوالي (2.0%) في درجة حرارة الغرفة. ويتكون طور (β) في السبائك التي تتجاوز فيها نسبة الألمنيوم (45.0%)، والذي يسبب تحسناً في خواص سبائك المغنسيوم - الألمنيوم. وتعـــتبر

الـــســـــبائك الحـــاوية على أقـــل من (10.0%) ألمنيوم هي أهم هذه السبائك، وتعتبر من السبائك التي يمكن اصلادها بالترسيب.

3-2-1- سبائك المغنسيوم الأخرى : Other Mg - Alloys

من أهم العناصر الأخرى التي تضاف إلى المغنسيوم هي الزنك والثوريوم. يذوب هذان المعدنان بنسبة حوالي (8.4%) في درجـــة (344 مْ) بالنسبة للزنك وبنسبة حوالي (4.5%) في درجة حرارة (582مْ) بالنسبة للثوريوم، ويكوّنان المحلول الجامد ($\propto$). وتنخفض قابلية ذوبان كلا المعدنين في المغنـسيوم إلى حوالي الصفر في درجة حرارة الغرفة. لذا فإن هاتين السبيكتين يمكن أصلادهما بالترسيب أو الأزمان، حيث ترتفع المقاومة والصلادة بمقادير ملحوظة. وتضاف أيضاً كميات قليلة من المنغنيز والزركون إلى بعض سبائك المغنسيوم. ويزيد المنغنيز من المقاومة ضد التآكل، في حين أن الزركون يكون فعالاً في تصغير الحجم الحبيبي.

وتسبب الإضافات من الثوريوم والسيريوم ارتفاعاً في المقاومة مع الاحتفاظ بمطيليه لا بأس بها، إلا أن أهم تأثير لهذين العنصرين يتجسد في تحسين المقاومة ضد الزحف في درجات الحرارة العالية.

أن المقاومة الجيدة لسبائـك المغنسـيوم إضافة إلى إنخاض وزنـها النوعي الذي يبلغ حوالي (1.8 غم/سم^3)، تؤهل هذه السبائك للأغراض التي يلعب فيها الوزن دوراً هاماً، على سبيل المثال في صناعة الطائرات وخزانات النفط والزيوت إضافة إلى أجزاء عديدة من المحركات والنفاثات.

ويتم أصلاد السبائك التي تستجيب لمعاملة الأصلاد بالترسيب بتسخينها لغرض المجانسة في درجات تتراوح بين (300 - 565 مْ)، وذلك بالتسخين

في درجة (410 مْ) للسبائك الحاوية على الألمنيوم وفي درجة (320 مْ) للسبائك الحاوية على الزنك وفي (565 مْ) للسبائك الحاوية على الثوريوم. ويتم التسخين لغرض الأصلاد بالترسيب في درجات تتراوح بين (-200 170 مْ) لمدة تصل إلى (12 ساعة). يبين الجدولان رقم (3) و (4) على التوالي عدداً من سبائك المغنسيوم المشكلة والمسبوكة مع معاملاتها الحرارية والخواص الميكانيكية الناتجة من هذه المعاملات.

3-1- التيتانيوم وسبائكه : Ti and its Alloys

يمتلك التيتانيوم درجة انصهار عالية جداً تبلغ حوالي (1727 مْ) ووزناً نوعياً منخفضاً نسبياً يبلغ حوالي (4.5 غم/سم^3) ومقاومة ممتازة ضد التآكل وخاصة في درجات الحرارة تحت (425 مْ) أو (540مْ). وتساوي مقاومة سبائك التيتانيوم ضعفاً الى ثلاثة أضعاف مقاومة سبائك الألمنيوم. وتساوي تقريباً مقاومة بعض أنواع الفولاذ السبائكي. ويبلغ معامل مرونة التيتانيوم حوالي (112×610 نيوتن/ملم^2)، بمعنى أنه أكثر جسوءة من سبائك الألمنيوم. كما تمتاز سبائك التيتانيوم بمقاومة أفضل ضد التآكل بتأثير الماء المالح والأجواء المالحة من الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستيني وسبائك المونيل (النحاس+ النيكل). ومن خواص سبائك التيتانيوم مقاومتها الجيدة ضد الزحف والكلال مما يؤهلها للاستعمال المتزايد في المعدات الخاصة بالأقمار الصناعية والطائرات.

تكون مقاومة شد التيتانيوم العالي النقاوة منخفضة ولا تتجاوز (2160نيوتن/ملم^2) بينما تكون مطيليته عالية وتبلغ حوالي (50.0%). تحوي الأنواع التجارية من التيتانيوم شوائب تزيد من مقاومة شده، حيث

ترتفع لتبلغ حوالي (700.0 نيوتن/ملم^2) وتنخفض من مطيليته فتبلغ حوالي (20.0%).

التيتانيوم معدن متآصل (Allotropic) ، حيث يكون طور ($\propto$) ذو الشبكه الحيزية السداسية المتراصة مستقراً لغاية (882.5 مْ)، ويتكون فوق هذه الدرجة طور (β) ذو الشبكة المكعبة المتمركزة الجسم. يكون طور (β) صلداً نسبياً وذو مقاومة عالية ومطيلية أقل من طور ($\propto$)، مع ذلك فإنه يمتاز بقابليته الجيدة على الحدادة، لذا فأن معظم سبائك التيتانيوم تتم حدادتها في نطاق هذا الطور. تثبت العناصر مثل الألمنيوم والقصدير طور ($\propto$) وتزيد من مقاومتها بتأثير تكوين المحلول الجامد، في حين أن السبائك ذات الطورين (β+ $\propto$)، والتي تتكون نتيجة إضافة عناصر السبك مثل المولبدنوم والفناديوم والسليكون والنحاس، يتم أصلادها بالمعاملة الحرارية. وتنتج الإضافات القليلة من المولبدنوم والفناديوم والحديد والنحاس والسليكون بنية من المارتنسايت لدى إخمادها سريعاً من نطاق (β)، بينما تنتج بنية تتكون بكاملها من طور (β) لدى إضافة كميات أكبر من هذه العناصر. ويتم أصلاد هذه السبائك بترسيب طور ($\propto$) بشكل دقيق خلال طور (β)، مما يعطي خواصاً ميكانيكية جيدة بصورة عامة. وتجري معاملة الأصلاد بالترسيب هذه أولاً بتسخين السبائك لغرض المجانسة في درجات تتراوح بين (850 – 1050 مْ) مصحوباً بالأزمان في درجة (500 مْ) لمدة (24 ساعة). الشكل رقم (7) يبين هذا التأثير. يكثر استعمال سبائك التيتانيوم حالياً في أجزاء هياكل ومحركات الطائرات النفاثة الفائقة السرعة، وذلك بسبب جمعها الجيد بين خاصيتي المقاومة النوعية والمقاومة الممتازة ضد التآكل. كما تستعمل هذه السبائك للأغراض الطبية وفي المصانع الكيمياوية ولنفس الأسباب المذكورة أعلاه. الجدول رقم

(5) يبين الخواص الميكانيكية والتركيب الكيمياوي للتيتانيوم النقي وسبائكه إضافة إلى معاملاتها الحرارية.

4-1- البريليوم : Be

يساوي الوزن النوعي للبريليوم (1.85 غم / سم^3)، ويقارب الوزن النوعي للمغنسيوم، وله درجة انصهار مقدارها (1285 مْ) وشبكة حيزية سداسية متراصة. من أهم خواص البريليوم معامل المرونة الذي يبلغ حوالي ($\times$ 10 ^{3} 275.6 نيوتن / ملم2) وتتراوح مقاومته بين (248.1 - 537.4 نيوتن /ملم^2) مع استطالة مقدارها حوالي (1.5 - 7.0%). ويمتاز البريليوم أيضاً بظاهرة اتجاهية الخواص، حيث أن خواصه تبدي اختلافاً واضحاً في الاتجاه الطولي أو العرضي. ويشكل انخفاض مطيلية هذا المعدن عقبة في سبيل انتشار استعماله كمادة هندسية. يكون غبار البريليوم والبخار المتصاعد منه ساماً، مما يستوجب الحذر لدى التعامل مع هذا المعدن.

من خواص البريليوم الهامة الأخرى انخفاض قابلية امتصاصه للنيوترونات، لذا فأنه مفيد كعاكس للنيوترونات، علماً بأن تقصفه يحد من استعماله مع الوقود النووي.

يكثر استعمال البريليوم كعنصر سبك مع النحاس والنيكل والمغنسيوم، والسبائك الناتجة يمكن أصلادها بالترسيب. كما يكثر استعمال سبائك النحاس - البريليوم في الأغراض التي تحتاج الى مقاومة شد عالية إضافة الى المقاومة الجيدة ضد التآكل، ومقاومة كلال جيدة.

1-5- الزركون : Zr

يشابه العديد من خواص هذا المعدن خـــواص التـــيتانـــيوم، على الرغم من أنه وبـــوزنه الـــنوعي الذي يساوي (6.4 غم / سم^3) أقرب الى الحديد. تكون سبائك الزركون المستعملة إلى حد الآن فصل اكثر مما يجب، مما يحد استعمالها للأغراض الهندسية.

تبلغ مقاومة شد هذا المعدن حوالي (248.1 نيوتن/ملم^2) مع مقاومة خضوع ومطيلية تساوي حوالي (110.2 نيوتن/ملم2) و (36.0%) على التوالي. الزركون مثل التيتانيوم معدن متأصل يوجد على شكل طورين، أحدهما وهو طور ($\propto$) ذو الشبكة السداسية المتراصة والذي يوجد إلى حوالي درجة (865 مْ) درجة، والآخر هو طور (β) ذو الشبكة الحيزية المكعبة المتمركزة الجسم والذي يوجد إلى درجة الانصهار البالغة (1860 مْ). من أهم سبائك الزركون السبيكة المسماة بزركالوي (2) والتي تحوي (1.5%) قصدير و(0.12%) حديد و(0.10%) كروم و(0.05%) نيكل إضافة إلى الزركون. تستعمل هذه السبيكة كوعاء لعناصر الوقود في المفاعلات، وهي تمتاز بمقاومة أعلى بكثير من المعدن النقي ومقطع نيوترونات حرارية (Thermal - Neutron Cross Section) أكبر بقليل من مقطع المعدن النقي.

تعتبر مقاومة الزركون العالية ضد التآكل من أبرز الخواص التي تكسب هذا المعدن أهمية بالغة كمادة هندسية، كما أن خواصه النووية أهلته للاستعمال في حقل الطاقة النووية. ورغم أن البريليوم والمغنسيوم يمتلـــكان مقطع امتصاص نيـوترونات أصغر من الزركون، إلا أن هذه المعادن هي من المعادن المشعة وتفقد مقاومتها بشكل أكبر مع ارتفاع

درجات الحرارة. لذا فأن الزركون هو أكثر المعادن أهلية للاستعمال في هذه المجالات.

1-6- أهمية المعادن الخفيفة وسبائكها كمواد هندسية :

الجدول رقم (6) يبين خواص المعادن الخفيفة بالمقارنة بخواص عدد من أنواع الفولاذ. لدى اختيار المواد الهندسية للأغراض الإنشائية تلعب الجسوءة والمقاومة النوعية (المقاومة/الوزن) دوراً أكثر أهمية من الوزن النوعي بحد ذاته. أن مـــعـــامل المـــرونه، كما هو معروف هو الذي يقرر جسوءة معدن معين. يكون معامل مرونة المعادن الخفيفة، بصورة عامة وباستثناء البريليوم، أقل من معامل مرونة الفولاذ. لغرض موازنة الانحناء الكبير الناتج لدى استعمال هذه المعادن، لابد من تصميم الأجزاء الإنشائية مثل العتبات والمصنعة منها، بسمك أكبر أو أن يجري تقويتها بوساطة أضلاع لزيادة جسوءتها. بالإمكان إجراء المقارنة بين الخواص المختلفة لهذه المعادن بالفولاذ بتقسيم هذه الخواص على الوزن النوعي، كما يتضح من الجدول رقم (6). هنالك خواص أخرى، عدا المقاومة والوزن النوعي، تتحكم في عملية اختيار معدن معين لغرض معين، كما بينا لدى مناقشة المعادن الخفيفة فيما مضى.

المقـدمة

تحتل المعادن والسبائك اللاحديديه، أي التي لايتكون أساسها من الحديد موقعاً هاماً بين المواد الهندسية المختلفه. وعلى الرغم من أن معظم هذه المعادن والسبائك قد تم اكتشافها قبل فترة وجيزة نسبياً فإنها أخذت تنافس الكثير من المواد الهندسية ذات الأساس من الحديد والمواد الهندسية

اللامعدنية في كافة الاستخدامات الصناعية. يتألف الكتاب من أربعة فصول هي:

1- **الفصل الأول:** المعادن الخفيفه وسبائكها.

2- **الفصل الثاني:** النحـاس والنـيكل وسبائكهما.

3- **الفصل الثالث:** معادن وسبائك لاحديديه مختلفة.

4- **الفصل الرابع:** سـبائك المحامل.

يتناول **الفصل الأول** المعادن اللاحديديه التي تمتاز بخفة وزنها النوعي مما أكسبتها أهمية بالغة كمادة هندسية وازدادت هذه الأهمية بعد اكتشاف المعاملة الحرارية المسماة " الأصلاد بالترسيب والأزمان". تشمل المعادن الخفيفه الألمنيوم والمغنسيوم والتيتانيوم والبريليوم والزركون.

ويناقش **الفصل الثاني** النحاس والنيكل وسبائكهما، وهي من المعادن والسبائك الثقيلة نسبياً مقارنة مع المعادن الخفيفه. ولقد خصص هذا الفصل لهذين المعدنين وسبائكهما نظراً لاتساع أنواعها وتباين استخداماتها.

الفصل الثالث يتناول المعادن والسبائك اللاحديديه ذات المواصفات الخاصة مثل المعادن البيضاء وسبائكها (الرصاص والقصدير والزنك) والمعادن الثمينة وسبائكها (الفضة والذهب والبلاتين) إضافة إلى معادن أخرى مثل التنجستن والمولبدنوم والكوبالت وغيرها .

تشكل المحامل أو كراسي التحميل كما تسمى أحياناً، أجزاء مهمة من المكنات والآلات والمعدات المختلفة، حيث تقوم بنقل الحركة بين أجزائها المختلفة، لذا فقد تم تخصيص **الفصل الرابع** لسبائك المحامل والتي تشمل

برونزات المحامل والمحامل المصنعه من سبائك المعادن البيضاء والمحامل من السبائك ذات الأساس من الألمنيوم والمحامل الفضيه والمحامل الثلاثية الطبقات والمحامل الذاتية التزييت وغيرها.

أتمنى أن أكون قد قدمت خدمة متواضعه إلى مكتبتنا العربيه بشكل عام والمكتبة العراقية بشكل خاص وما توفيقي إلا بالله.

المؤلف

الفصل الثاني
النحاس والنيكل وسبائكهما
Copper and Nickel and their Alloys

الفصل الثاني

النحاس والنيكل وسبائكهما

Copper and Nickel and their Alloys

1- المقدمة :-

يعتبر النحاس من أول المعادن التي استعملها الإنسان القديم، وينتج ويستعمل في الوقت الحاضر بكميات تأتي في المرتبة الثالثة بعد الفولاذ والألمنيوم. يستعمل النحاس بكميات كبيرة كمعدن نقي في الصناعات الكهربائية، نظراً لتوصيله الكهربائي المتميز والذي لا يفوقه إلا التوصيل الكهربائي لمعدن الفضة. ويفضل النحاس بطبيعة الحال على الفضة في الاستعمالات الكهربائية، نظراً لانخفاض كلفته مقارنة بكلفة الفضة.
للنحاس مجموعة كبيرة من السبائك التي تستعمل عادة وبكثرة في المجالات التي تتطلب التوصيل الكهربائي العالي وقابلية التشكيل الجيدة ومقاومة التآكل في آن واحد.

وتشمل سبائك النحاس مايأتي :-

أ- سبائك البراص، وهي سبائك من النحاس والزنك (Brasses).

ب- سبائك البرونز، وهي سبائك من النحاس والقصدير أو الألمنيوم أو البريليوم أو السليكون (Bronzes).

جـ- سبائك النحاس والنيكل (Cupronickels).

ء- سبائك النحاس والنيكل والزنك (Nickel Silvers).

يمتاز معدن النيكل بمقاومته الجيدة ضد التآكل والتأكسد وقابليته الجيدة للتشكيل، كما يمتاز بخواص ميكانيكية جيدة بصورة عامة.

يكوّن النيكل سبائك من نوع المحاليل الجامدة، التي تمتاز بمطيلية ومتانة جيدتين، مع معظم المعادن المعروفة، كما يضاف النيكل إلى الفولاذ الكربوني لإنتاج الفولاذ السبائكي المعروف بالفولاذ المقاوم للصدأ.

يستعمل النيكل كمعدن نقي بكثرة لأغراض الطلاء الكهربائي، نظراً لارتفاع مقاومته ضد التآكل والتأكسد.

وتشمل سبائك النيكل ما يأتي :-

أ- سبائك المونيل، وهي سبائك من النيكل والنحاس (Monel).

ب- سبائك ذات الأساس من النيكل والحاوية على العناصر مثل السليكون والكروم والمولبدنوم، أما منفردة أو بأكثر من عنصر واحد في نفس الوقت.

جـ- سبائك النيكل والحديد.

1-1- النحاس النقي (Pure Copper) :-

كما ذكرنا أعلاه، فإن النحاس النقي يمتاز بالخواص الآتية:-

أ- التوصيل الكهربائي والحراري الجيدين.

ب- المقاومة الجيدة ضد التآكل.

جـ- قابلية تشكيل وتشغيل جيدتين.

ء- قابلية جيدة على للحام بأنواعه.

هـ- النحاس معدن غير مغناطيسي.

يستعمل النحاس النقي ذو النقاوة العالية وبنسبة (99.9%) بكثرة في الموصلات الكهربائية والمبادلات الحرارية والمحركات الكهربائية. يكون النحاس النقي على أنواع أهمها :-

أ- النحاس الإلكتروليتي الحاوي على الأوكسجين (E.T.P.C.) والذي يكثر استعماله في المبادلات الحرارية والمراجل البخارية، ويحوي حوالي (0.02-0.05%) من الأوكسجين الذي يوجد على شكل أوكسيد النحاسوز (Cu_2O).

ب- النحـاس الخالي مـن الأوكسجين والعالي التوصيل الكهربائي (O.F.H.C.C.) الذي يكثر استعماله في الأنابيب الإلكترونية.

جـ- الـنحاس الحاوي على الزرنيخ (Arsenical Copper) والذي يحو ي حوالي (0.3%) من الزرنيخ ويمتاز بـمـقـاومته الجيدة ضد أنواع خاصة من التآكل ويستعمل بكثرة في أنواع خاصة من المبادلات الحرارية والمكثفات.

ء- النحاس السهل القطع (Free - Cutting) والذي يحوي حوالي (0.6%) من التليريوم أو الرصاص ويمتاز بقابليـة تشـغيل ممتازة ويستعمل بكثرة لإنتاج اللوالب والصامولات، والاستعمالات الكهربائية مثل مسســننات التمـــاس والتـــشــغيل الكهربائي ومعدات المناوبة الكهربائية (Relays) ولإنتاج أجزاء من الأجهزة الكهربائية الدقيقة.

هـ- نحاس المحـامل الفضـي (Silver - Bearing Copper) والذي يحوي حوالي (0.3%) فضة.تزيـد الفضــة مـن درجة حرارة إعادة تبلور النحاس، وبذلك فإنها تعيق تلينه أثناء اللحام. يسـتعمل هذا النوع من النحاس في عاكسات ومبدلات التيار الكهربائي (Commutators) وفي المحركات الكهربائية للطائرات.

1-1-1- سبائك النحاس - الزنك : Cu - Zn - Alloys (Brasses)

بالإمكان تصنيف سبائك النحاس - الزنك المعروفة بأنواع البراص، كما يلي:-

1- براص آلفا (Alpha Brass) الذي يحوي الزنك بنــسـبه تبلغ حوالي (36%) ويكون على نوعين :-

أ- بـراص آلفا الأصفر (Yellow Alpha Brass)، الــذي يحوي الزنك بنسـبة تتراوح بين (20 -36%).

ب- براص آلفا الأحمر (Red Alpha Brass)، الذي يحوي الزنك بنسبة تتراوح بين (5-20%).

2- براص (آلفا + بيتا) (Alpha + Beta Brass) ويشمل الـسـبائك الحاوية على الزنك بنسب تتراوح بين (54-62%).

الشكل رقم (8) يبين مخطط أطوار النحاس - الزنك لغاية حوالي (60%) من الزنك، ويشمل كافة السبائك المذكورة أعلاه. يتـضح من المخطط بأن قابلية ذوبان الزنك في النحاس تزداد من حوالي (32.5%) في درجة حوالي (900 مْ) لتبلغ حوالي (39.0%) في درجة حرارة (400 مْ)، مكونه المحلول الجامد آلفا ($\propto$) ذو الشبكه الحيزية المكعبة والمتمركزة الأوجه (F.C.C.). ويظهر المحلول الجامد (β) بعد هذه النسب من الزنك ويمتلك شبكة حيزية مكعبة متمركزة الجسم (B.C.C.) غير المنتظمة (disordered) فوق درجة حوالي (450 مْ) لتنتظم عند التبريد تحت هذه الدرجة مكونه المحلول الجامد المنتظم بيتا (Ordered $\beta^{\backslash}$)، والذي تتمركز فيه ذرات النحاس في أركان الشبكه المكعبة وذرات الزنك في مركز هذه الشبكه. تؤدي إضافة الزنك إلى النحاس، بعكس المحاليل الجامدة الأخرى، إلى تحسين المقاومة والمطيلية معاً، كما يتضح من الجدول رقم (7)، علماً بأن أفضل جمع بين هاتين الخاصيتين يتحقق في السبيكة الحاوية على (70% نحاس و 30% زنك).

تستعمل سبائك براص آلفا لأغراض التشكيل على البارد، بينما تستعمل سبائك (آلفا + بيتا) لأغراض التشكيل على الساخن.

1-1-1-1- براص آلفا : Alpha Brass

تمتاز هذه السبائك بقابلية جيدة على للتشكيل ومقاومة جيدة ضد التآكل. يتراوح لون هذه السبائك بين الأحمر، للسبائك العالية النحاس، والأصفر للسبائك الحاوية على (62.0%) من النحاس.

وتمتاز سبائك براص آلفا الأصفر ضمن هذه المجموعة بمقاومة ومطيلية جيدة مما يؤهلها لأغراض التشكيل على البارد، كما أسلفنا. وأكثر أنواع هذه السبائك شيوعاً :-

أ- براص الاطلاقات (Cartridge Brass) الذي يحوي علـــى (70%) نحاس و (30%) زنك.

ب- البراص الأصفر (Yellow Brass) الذي يحوي (65%) نحاس و (35%) زنك.يكثر استعمال هذه السبائك لإنتاج الخزانات والعاكسات الضوئية ورووس المصابيح الكهربائية والنوابض واللوالب.
ويضاف الرصاص إلى هذه السبائك بنسب تتراوح بين(0.5-3.0%) لتحسين قابلية التشغيل، مما يؤهلها لإنتاج المسننات (التروس) والأجزاء الصغيرة من الساعات وألواح الحفر أو الطبع والمفاتيح والأقفال.

هناك نوعان من البراص الأصفر المستعمل للأغراض الخاصة:-

أ- براص القصدير (Admirality Brass) الذي يحوي (71.0%) نحاس و(28%) زنك و (1.0%) قصدير. يحسن القصدير المقاومة ومقاومة التآكل، لذا فإن هذا البراص يستعمل في إنتاج أنابيب المبادلات الحرارية في محطات الطاقة البخارية.

ب- براص الألمنيوم (Al-Brass) الذي يحوي (76%) نحاس و (22%) زنك و (2.0%) ألمنيوم الذي يمتاز بمقاومة أفضل ضد التآكل من السبيكة السابقة. تستعمل هذه السبيكه كطلاء ذاتي الترميم (Self-Healing)لحماية الأنابيب المستعملة في المعدات البحرية ومحطات الطاقة الارضية من التعرية أو التآكل نتيجة التعرض إلى ماء التبريد السريع الجريان (Erosion). ويمتاز براص آلفا الأحمر ضمن هذه المجموعة بمقاومة أفضل ضد التآكل من أنواع البراص الأصفر الأخرى، وخاصة ضد أنواع التآكل المعروفة بالتشقق الموسمي (Season Craking) أو التآكل الجهدي (Stress Corrosion)، وإزالة الزنك (Dezincification).

من أهم أنواع هذه السبائك:-

أ- سبيكة الطلاء (Gilding Metal) الحاوية على (95%) نحاس و (5%) زنك والتي تستعمل لصناعة النقود المعدنية والأنواط والميداليات ولإنتاج المنتوجات المطلية بالذهب والمصقوله بدرجة عالية. تمتاز هذه السبائك بمقاومة أعلى من النحاس النقي.

ب- البرونز التجاري (Commercial Bronze) الذي يحوي على (90%) نحاس و (10%) زنك ويمتاز بقابلية تشكيل ممتازة على البارد والساخن، ويستعمل لإنتاج الحلي الاصطناعية والمعدات البحرية واللوالب والصامولات.

جـ- البراص الاحمر (Red Brass) الذي يحوي على (85%) نحاس و (15%) زنك ويستعمل للموصلات الكهربائية وأغلفة اللوالب والمكثفات وأنابيب المبادلات الحرارية.

ء- البراص الواطئ (Low Brass) الذي يحوي على (80%) نحاس و (20%) زنك ويستعمل لمعدات الزينة والميداليات والآلات الموسيقية ومعدات أخرى يمكن تشكيلها بالسحب العميق(Deep Drawing).

1-1-2- براص (آلفا + بيتا) : ($\propto + \beta$ - Brass)

تحوي هذه السبائك بين (54-62%) نحاس، واستناداً إلى المخطط في الشكل رقم (8)، فإن هذه السبائك تتكون من طورين هما طور آلفا ($\propto$) وطور بيتا (β) المنتظم.

يمتاز طور بيتا المنتظم بأنه أصلد وأكثر تقصفاً من طور آلفا في درجة حرارة الغرفة، لذا فإن هذه السبائك تقاوم التشكيل على البارد أكثر من السبائك التي تتكون من طور آلفا لوحده. إلا أن هذه السبائك تصبح لدنة جداً وقابلة للتشكيل عند تسخينها فوق درجة (400 مْ)، حيث تتحول إلى طور (β) غير المنتظم. من أهم أنواع هذه السبائك ما يلي:-

أ- سبيكة مونز (Munts Melal) التي تحوي (60%) نحاس و (40%) زنك ولها مقاومة عالية

وقابلية تشكيل ممتازة على الساخن. تستعمل هذه السبيكه كألواح تغليف للسفن وكصفائح متموجة.

للأعمال المعمارية، كما تستعمل لإنتاج أسلاك اللحام بالبراص وأنابيب المكثفات.

ب- البراص السهل القطع (Free-Cutting Brass) الذي يحوي (61.5%) نحاس و(35.5%)
زنك و (3.0%) رصاص والذي يمتاز بقابلية تشغيل أفضل من أي نوع آخر من البراص، إضافة إلى مقاومة ومقاومة تآكل جـيدتين. تستعمل هذه السبيكه لإنتاج المسننات واللوالب المستعملة في مكنات القطع السريع.

جـ- براص البحرية (Naval Brass) الذي يحوي (60%) نحاس و (39.25%) و (0.75%)
قصدير، والذي يمتاز بمقاومته المتزايدة ضد التآكل في ماء البحر، ويستعمل لإنتاج صفائح

المكثفات وأسلاك اللحام وأعمدة الدوران والصمامات.

1-1-1-3- البراص المسبوك : Cast Brass

فيما مضى ناقشنا فقط سبائك البراص المستعمله لأغراض التشكيل على البارد والساخن، والتي تتكون أساساً من النحاس والزنك. تختلف مسبوكات البراص عن هذه السبائك في أنها تحوي عادة كميات لا بأس بها من عناصر السبك الأخرى، حيث إنها قد تحوي القصدير بنسب تتراوح بين (1-6%) والرصاص بنسب (1-10%)، وقد تحوي أنواعا منها الحديد والمنغنيز والنيكل والألمنيوم.

من أهم أنواع هذه السبائك السبيكة المسماة بالبراص الأحمر الحاوي على الرصاص (Leaded Red Brass) التي تحوي (85%) نحاس و (5%) قصدير و(5%) رصاص و(5%) زنك وتستعمل لإنتاج المسبوكات ذات المقاومة المنــاسبة والخالية من العيوب والتي تمتاز بقابلية تشغيل جيدة، مثل الصمامات المستعملة تحت الضغط الواطئ ومفاصل الأنابيب والمسننات الصغيرة والأنابيب المسبوكة الصغيرة.

1-1-2- سبائك النحاس والقصدير : (Cu-Sn-Alloys (Bronzes

لقد استعملت هذه التسمية (البرونز) سابقاً للتعبير عن سبائك النحاس الحاوية على القصدير فقط، إلا أنها تستعمل اليوم لكافة سبائك النحاس الحاوية على حوالي (12%) من عناصر السبك الأساسية، وذلك باستثناء سبائك النحاس والزنك وسبائك البرونز التجارية هي أساساً سبائك من النحاس والقصدير والألمنيوم والسليكون أو البريليوم، وقد تحوي أحياناً عناصر مثل الفسفور والرصاص والزنك.

1-1-2-1- برونزات القصدير : Tin - Bronzes

تعرف هذه السبائك بصورة عامة ببرونزات الفسفور (Phosphor Bronzes)، نظراً لاحتوائها دائماً على عنصر الفسفور الذي يضاف كعامل مزيل للأوكسجين في المسبوكات. تتراوح نسب

الفسفور في هذه السبائك بين (0.01%-0.5%) ونسب القصدير بين (1.0-11.0%). تمتاز هذه السبائك بمقاومتها ومتانتها ومقاومتها العالية ضد التآكل وبمعامل احتكاك منخفض، بالإضافة إلى مقاومتها ضد التآكل المعروف بالتشقق الموسمي أو التآكل الجهدي. ويضاف الزنك أحياناً إلى هذه السبائك مما يحسن خواص السباكة فيها إضافة إلى تحسين متانتها، كما يضاف أحياناً الرصاص الذي يحسن قابلية التشغيل ومقاومة الاحتكاك فيها. تستعمل السبائك الحاوية على الرصاص بشكل خاص لإنتاج المحامل التي تعمل تحت ظروف الضغط المتوسط والخفيف.

1-1-2-2- برونزات السليكون : Silicon Bronzes

تحوي هذه السبائك نسبة سليكون أقل من (5.0%) وهي تتكون في هذه الحالة من طور واحد هو المحلول الجامد آلفا. وتعتبر هذه السبائك من أقوى سبائك النحاس القابلة للاصلاد الاجهادي، تمتلك خواصاً ميكانيكية مقاربة لخواص الفولاذ الواطئ الكربون ومقاومة ضد التآكل مقاربة لمقاومة النحاس. تستعمل هذه السبائك لإنتاج الخزانات والمراجل البخارية التي تعمل تحت الضغط العالي والمعدات البحرية وأنابيب خطوط الضغط الهيدروليكي.

1-1-2-3- برونزات الألمنيوم : Al - Bronzes

تحوي هذه السبائك حوالي (4-11%) ألمنيوم وتتكون من طور واحد هو المحلول الجامد آلفا، إذا كانت نسبة الألمنيوم فيها دون (7.5%)، ومن طورين هما ألفا وبيتا، إذا تجاوزت نسبة الألمنيوم (7.5%). تمتاز السبائك ذات الطور الواحد بقابلية جيدة للتشكيل على البارد إضافة إلى مقاومة جيدة مع مقاومة تآكل جيدة ضد الجو الخارجي والماء, تستعمل هذه السبائك لإنتاج أنابيب المكثفات والمراجل المقاومة للتآكل واللوالب والصامولات وكألواح تغطية لحماية المعدات البحرية. تمتاز السبائك ذات الطورين بإمكانية معاملتها حرارياً بحيث تعطي بنية مجهرية مماثلة لتلك الناتجة في الفولاذ المعامل حرارياً. تمتلك الأنواع المخمرة من هذه السبائك بنيه شبيهة بالبرلايت، والأنواع المصلدة بالأخماد من درجة (810-870 مْ) بنية إبرية شبيهه بالمارتنسايت. كما أنه بالإمكان معاملة السبائك المصلدة بالأخماد بمراجعتها في درجات حوالي (370-590مْ) لزيادة مقاومتها ومتانتها.تستعمل السبائك المعاملة حرارياً لإنتاج المسننات والأرياش وأجزاء من المضخات والمحامل وقوالب السحب والتشكيل.

1-1-2-4- برونزات البريليوم : Beryllium Bronzes

تعتبر هذه السبائك من السبائك القابلة للاصلاد بالمعاملة الحرارية،أي الاصلاد بالترسيب (Precipitation Hardening)، حيث إن قابلية ذوبان البريليوم في النحاس، أي في المحلول الجامد آلفا، تنخفض من (2.1%) في درجة (866 مْ) إلى أقل من (0.25%) في درجة حرارة الغرفة. ويمكن تحقيق أفضل الخواص الميكانيكية في السبيكة الحاوية على (2.0%) بريليوم وذلك باتباع المعاملة الحرارية الاتية :-

أ- تخمير المحلول الجامد (المجانسة) في درجة (780 مْ).

ب- الإخماد في الماء.

جـ- التشكيل على البارد.

ء- الاصلاد بالترسيب في درجة (316 مْ).

تستعمل هذه السبائك للأجزاء من المعدات التي تتطلب قابلية تشكيل جيدة في الحالة اللينه ومقاومة خضوع وتزحف عاليتين في الحالة المصلدة، على سبيل المثال الأنواع المختلفة من النوابض. كما تستعمل للأجزاء التي تتطلب مقاومة عالية ومقاومة تآكل جيدة وتوصيلاً كهربائياً جيداً، على سبيل المثال جسور التماس في المعدات الكهربائية وأدوات الجراحة الطبية واللوالب والصامولات.

1-1-2-5- سبائك النحاس - النيكل : Cu-Ni-Alloys (Cupronickls)

وتشمل سبائك النحاس الحاوية على النيكل بنسب تبلغ (30%). كما هو معروف فإن النحاس والنيكل يقبلان الذوبان في بعضهما بعضا كلياً، بحيث أن كافة السبائك الناتجة سوف تتكون من طور واحد هو المحلول الجامد آلفا. لا تستجيب هذه السبائك للمعاملة الحرارية، لذا فإنه ليس بالإمكان التحكم في خواصها إلا بوساطة التشكيل على البارد. تمتاز هذه السبائك بمقاومة عالية ضد الكلال التآكلي (Corrosion Fatigue) ومقاومة عالية ضد التآكل بالتعرية (Corrosion-Erosion) الناتجة في مياه البحر السريعة الجريان. تستعمل هذه السبائك بكثرة لإنتاج المكثفات ومعدات التقطير والمبخرات وأنابيب المبادلات الحرارية والمراجل البحرية ومحطات الطاقة الساحلية.

1-1-2-6- سبائك النحاس والنيكل والزنك : Nickel Silvers

تسمى هذه السبائك عادة بفضة النيكل، وتحوي الأنواع التجارية منها (50-70%) نحاس و (5-30%) نيكل و (5-40%) زنك. تتكون السبائك الحاوية على ما يفوق (60%) من النحاس من طور واحد وتمتاز بمطيلية جيدة وقابلية جيدة على التشكيل في درجة حرارة الغرفة. يضاف النيكل إلى هذه السبائك لإكسابها لوناً أبيضاً مزرقاً مع مقاومة جيدة ضد التآكل بتأثير المواد الغذائية والماء والجو الخارجي. كما أن هذه السبائك مؤهلة بشكل خاص لتغطيتها بطبقة من معادن أخرى مثل الكروم والنيكل والفضة، وتستعمل بكثرة لإنتاج اللوالب ومعدات الطعام والحلي الاصطناعي.

وتتكون سبائك فضة النيكل الحاوية على (50-60%) نحاس من طوري آلفا وبيتا، تمتاز بمعامل مرونه عالي نسبياً وقابلية تشكيل جيدة على الساخن. تستعمل هذه السبائك لإنتاج النوابض ومعدات الاتصال في أجهزة الهاتف والأسلاك ذات المقاومة العالية ومعدات جراحة الطب وطب الأسنان.

1-2- النيكل النقي : Pure Nickel

يمتاز النيكل، كما أسلفنا بمقاومة جيدة ضد التآكل والتأكسد، وبلونه الأبيض وبخواصه الميكانيكية وقابلية تشكيله الجيدتين. أن مقاومة النيكل العالية ضد التآكل تؤهله للاستعمال لأغراض تغطية المــعادن الأخرى وحمايتها من التآكل. وتستعمل مسبوكات النيكل لإنتاج المعدات المقاومة ضد التآكل، حيث يضاف قليل من السليكون والمنغنيز إلى هذه المسبوكات لزيادة مطيليتها والمساعدة على خلوها من العيوب.
يمتاز النيكل المشكل (Wrought Nickel) بخواص مشابهة لخواص الفولاذ الواطئ الكربون، ويحتفظ بمقاومته في درجات الحرارة المرتفعة وبمطيليته و متانتة في درجات الحرارة المنخفضة.

1-2-1- سبائك النيكل : Nickel Alloys

أهم عناصر السبك المضافة إلى النيكل هي :-

النحاس والحديد والكروم والسليكون والمولبدنوم والمنغنيز والألمنيوم. فيما يلي نناقش عدداً من أهم سبائك النيكل.

1-2-1-1- السبائك ذات الأساس من النيكل والنحاس Ni-Cu- based Alloys:

كما أسلفنا، فأن النحاس يقبل الذوبان كلياً في النيكل، ويضاف إلى النيكل لتحسين قابلية التشكيل والاحتفاظ بالمقاومة ضد التآكل، إضافة إلى خفض التكاليف.

تعتبر سبائك المونيل (Monel) من أهم سبائك النيكل والنحاس، وهي تحوي عادة ثلثين من النيكل وثلثاً واحداً من النحاس. من أهم خواص هذه السبائك ما يلي:-

أـ مقاومة عالية ضد التآكل بتأثير الحوامض والقواعد والماء والجو

الخارجي.

ب- لها خواص ميكانيكيه أفضل من أنواع البراص والبرونز، إلا أنها لا تقارن بأنواع الفولاذ السبائكي.

جـ- تمتاز بمتانة ومقاومة جيدتين ضد الكلال، لذا يكثر استعمالها تحت ظروف درجات الحرارة المرتفعة.

من أهم سبائك المونيل ما يأتي :-

أ- المونيل (R-Monel) التي تحوي نسبة عالية من الكبريت لغرض تحسين قابلية التشغيل فيها، وتستعمل بكثرة لإنتاج اللوالب الخاصة بالسيارات.

ب- المونيل (K-Monel) التي تحوي حوالي (3.0%) المنيوم، مما يجعلها قابلة للاصلاد بالترسيب. وتستعمل لإنتاج أعمدة الدوران الخاصة بالمضخات البحرية والنوابض ومعدات القياس في الطائرات ولإنتاج المحامل الكروية.

جـ – المونيل (H-Monel) والمونيل (S-Monel) التي تحوي السليكون بنسبة (3.0%) و(4.0%) على التوالي. وهي سبائك مسبوكة تمتاز بمقاومة عالية مع استحكام جيد ضد الضغط (Pressure Tightness)، إضافة إلى انعدام ظاهرة الالتصاق فيها (Seizing) ومقاومة جيدة ضد التآكل. تمتاز السبيكتان بخواص ميكانيكية متشابهة، إلا أن السبيكة الأولى تمتاز بقابلية تشغيل أفضل. تستعمل هذه السبائك لإنتاج الصمامات وبطانة المضخات.

ء- سبيكة المزدوجات الحرارية (Constantans) التي تحوي (45%) نيكل و(55%) نحاس والتي تمتاز بأقصى مقاومة كهربائية وبادنى معامل مقاومة حراري وأقصى قوة دافعة كهربائية (emf) ضد معدن البلاتين

من بين كافة سبائك النيكل والنحاس. الخاصيتان الأولى والثانية ذات أهميـة بالنسبة للمقاومات الكهربائية، والثالثة ذات أهمية بالنسبة للمزدوجات الحرارية.

1-2-1-2- السبائك ذات الأساس من النيكل والسليكون والنحاس :

Ni-Si-Cu-based Alloys

من أكثر أنواع هذه السبائك شيوعاً هي سبيكة الهاستالوي (Hastelloy D) والتي تحوي (10.0%) سليكون و ((3.0% نحاس وهي من المسبوكات التي تمتاز بالمتانة والمقاومة إضافة إلى صلادتها الفائقة، إلا أنها تكون صعبة التشغيل ويتم إنجازها أو إنهاؤها بالتجليخ (Grinding). من أهم خواص هذه السبيكه مقاومتها الممتازة ضد التآكل بتأثير حامض الكبريتيك المركز في درجات الحرارة المرتفعة. تستعمل هذه السبيكة لإنتاج المبخرات ومراجل التفاعلات وخطوط الأنابيب في المصانع الكيمياوية.

1-2-1-3- السبائك ذات الأساس من النيكل والكروم والحديد :

Ni-Cr-Fe - based Aloy

تمتاز هذه السبائك بمقاومتها الجيدة ضد الحرارة، لذا يكثر استعمالها لإنتاج عناصر التــدفئة الكهربائية) الأسلاك والقضبان) مثل المدافئ الكهربائية والأفران الصناعية والمراجل البيتية ومجففات الشعر. وتمتاز هذه السبائك أيضاً بمقاومة جيدة ضد التأكسد والكلال الحراري (Heat Fatigue) وضد غازات الكربنة، لذا يكثر استعمالها في معدات وأفران وأحواض المعاملات الحرارية مثل الكربنة والنتردة والسيندة، ومعدات أخرى تتطلب مقاومة ضد درجات الحرارة التي تبلغ حوالي (980 مْ). من أهم أنواع هذه السبائك :-

أ-السبيكة الحاوية على (80%) نيكل و (20%) كروم.

ب- السبيكة الحاوية على (60%) نيكل و (12%) كروم و((24% حديد.

جـ- السبيكة الحاوية على (35%) نيكل و (20%) كروم و((45% حديد.

هنالك مجموعة أخرى من هذه السبائك تعرف بسبائك الأنكونيل (Inconel) ذات التركيب الكيمياوي (76%) نيكل و (16%) كروم و (8%) حديد والتي تجمع بين الخواص المتميزة للنيكل، مثل المقاومة ومقاومة التآكل والمتانة، وبين الخواص المتميزة للكروم مثل المقاومة ضد التأكسد في درجات الحرارة العالية. تمتاز هذه السبائك أيضاً بمقاومتها ضد دورات التسخين والتبريد المتعاقبة، وخاصة في المديات الحرارية عند حوالي (870 مْ)، من دون أن تتقصف أو تفقد متانتها.

يكثر استعمال هذه السبائك في محركات الطائرات وفي معدات المعاملات الحرارية، مثل الأفران وأحواض النتردة ولإنتاج صناديق معاملة الكربنة الصلبة والأنابيب الواقية للمزدوجات الحرارية.

النوع الآخر مـن هذه المجموعة هو سـبيكة (Inconel X) القابلة للاصلاد بالازمان (Age Hardening) بعد إضافة التيتانيوم إليها بنسبة حوالي (2.25-2.75%) والألمـنيوم بنـسبة (0.4-1.0%). تحتفظ هذه السبيكة بمقاومتها في درجات الحرارة لغاية (815 مْ)، وتستعمل لإنتاج أجزاء من معدات الدفع النفاث والنوابض المستعملة تحت درجة حرارة حوالي (540مْ).

1-2-1-4- سبائك النيكل والحديد : Ni-Fe-Alloy

يقبل النيكل والحديد الذوبان كلياً في بعضهما بعضا مكونين محاليل جامدة. من أهم أنواع هذه السبائك ما يأتي :-

أ- السبائك الحـاوية على (20-90%) نيكل والتي تمتاز بمعامل تمدد حراري منخفض وخواص مغناطيسية جيـــدة ومفيـدة.لدى تجاوز نسبة النيكل في هذه السبائك نسبة (25%) ينخفض معامل التمدد الحراري أنخفاضاً حـاداً، بحيـث يبلغ الصفر تقريباً عند نسبة (36%) من النيكل. تعرف السبيكة الحاوية على (35%) نيكل بالسبيـــكة الثابتة أو سبيكة أنفار (Inver)، بمعنى أنها غير قابلة للتغير أو التحول، وتستعمل في المجالات التي تتطلب تغيراً طفيفاً جداً في الحجم مع تغير درجة الحرارة، مثل مساطر وأشرطة قياس الطول المعدنية والأجزاء الدقيقة من أجهزة القياس الدقيق.

ب- السبائك الحاوية على (30-60%) نيكل، ومن أهمها السبيكة ذات (68%) حديد و (27%) نيكل و (5%) مولبدنوم، أو السبيكة ذات (53%) حديد و (42%) نيكل و (5%) مولبدنوم، والتي تمتاز بارتفاع معامل تمددها الحراري. تستعمل هذه السبائك بكثرة لمعدات السيطرة على درجات الحرارة.

جـ- سبيكة الألنفار (Elinvar) والتي تحوي (36%) نيكل و (12%) كروم وتمتاز بانعدام معامل المرونة الحراري فيها (Thermoelastic Coefficient) بمعنى أن هذا المعامل يكون ثابتاً خلال نطاق ملحوظ من درجات الحرارة. تستعمل هذه السبيكة للنوابض الشعرية (Hair Spring) وعجلات الموازنة في الساعات والمعدات المشابهة في أدوات القياس الدقيقة.

ء- سبائك البرمالوي (Perm Alloys) التي تشمل سبائك من النيكل والحديد بنسبة حوالي(78%) نيكل، والتي تمتاز بخاصية النفاذية المغناطيسية الجيدة تحت تأثير القوى المغناطيسية الصغيرة جداً. وتمتاز أيضاً بانخفاض الفقدان في التخلقية (Hysteresis Losses) وانخفاض مقاومتها الكهربائية.

هـ- سبائك النيكو (Alnico Alloys) والحاوية على الألمنيوم بنسبة (8-12%) والنيكل بنسبة (14-28%) والكوبالت بنسبة (5-35%) والتي تمتاز بخواصها المغناطيسية الفائقة، وتستعمل لإنتاج المغانيط الدائمية في المحركات والمولدات والسماعات وأجهزة الهاتف.

الفصل الثالث
معادن وسبائك لاحديدية مختلفة
Miscellaneous Non-Ferrous Metals and Alloys

الفصل الثالث

معادن وسبائك لاحديدية مختلفة

Miscellaneous Non-Ferrous Metals and Alloys

1- المقدمة :-

سنناقش في هذا الفصل ما تبقى من المعادن والسبائك اللاحديدية ذات الأهمية كمواد هندسية، مثل المعادن البيضاء التي تشمل الزنك والرصاص والقصدير، والمعادن الثمينه مثل الفضه والذهب والبلاتين، والمعادن النادرة مثل النيابيوم والهافنيوم والزركونيوم، إضافة إلى معادن أخرى متفرقة.

1-1- المعادن البيضاء : White Metals

تشمل مجموعة المعادن البيضاء الرصاص والقصدير والزنك والانتيمون والكادميوم والبزموث والانديوم، وسوف نركز الاهتمام بالمعادن الثلاثه الأولى من هذه المجموعة لكونها أكثر أهمية كمواد هندسية. تمتاز كافة هذه المعادن بانخفاض درجة انصهارها وارتفاع وزنها النوعي نسبياً، كما يتضح من الجدول رقم (8).

1-1-1- الرصاص وسبائكه : Pb and its Alloy

1- الرصاص النقي : Pure Lead

يمتاز الرصاص بالخواص الأساسية الآتية :-

أ- ارتفاع الوزن النوعي.

ب- الليونه العالية.

جـ- المقاومة المنخفضة.

ء- درجة الانصهار المنخفضة.

وذلك إضافة إلى الخواص الأخرى مثل المقاومة الجيدة ضد التآكل ومعامل التمدد الحراري العالي والتوصيل الكهربائي المنخفض ودرجة حرارة إعادة التبلور المنخفضة. يستعمل الجزء الأكبر من منتوج الرصاص في البطاريات وكعامل مضاد للطرق (Antiknock) في أنـــواع الوقود ذات الكفاءة العالية، في حين أن أملاحه ومركباته تستعمل في إنتاج أنواع الأصباغ. كما يستعمل الرصاص كصفائح واقيه من أشعة بيتا وجـــاما، وذلك لارتفاع كثافته، التي تساعد على امتصاص هذه الاشعة، في حين أن ليونته تؤهله للاستعمال كربطات لأنابيب الحديد الزهر ولتغليف الأسلاك الكهربائية. وتستغل مقاومة الرصاص الجيدة ضد التآكل لاستعماله كبطانه للحاويات وأحواض التفاعل في المصانع الكيمياوية. ويضاف الرصاص أيضاً إلى أنواع البراص والبرونز والفولاذ لغرض تحسين قابلية التشغيل.

2- سبائك الرصاص : Lead Alloys

يعتبر الأنتمون والقصدير من أهم عناصر السبك المضافة إلى الرصاص. ويضاف الأنتمون أساساً لرفع درجة حرارة إعادة تبلور الرصاص ولزيادة صلادته ومقاومته، كما يتضح من الجدول رقم (9). تتراوح النسب المضافة من الانتمون إلى الرصاص بين (1-12%)، وتستعمل السبائك الناتجة لصفائح البطاريات وتغليف الأسلاك وللأغراض الإنشائية. ويضاف القصدير إلى الرصاص أيضاً لزيادة الصلادة والمقاومة، إضافة إلى الحصول على سبيكة اليوتكتك من الرصاص والقصدير والكثيرة الاستعمال في عمليات اللحام بسبائك الرصاص. الجدول رقم (10) يبين تأثير القصدير على الخواص الميكانيكية للرصاص. من أكثر سبائك الرصاص والقصدير استعمالاً في عمليات اللحام هي السبيكه ذات نسبة (60%) رصاص و (40%) قصدير أو السبيكه ذات (50%) من كل من المعدنين، مع أو دون إضافة كميات طفيفة من الأنتمون. تستعمل السبيكه ذات نسبة قصدير بين (10-25%) لتغليف أو تغطية الصفائح الفولاذية المستعملة في المسقفات أو خزانات الوقود في السيارات.

تستعمل سبائك الرصاص والقصدير والأنتمون بكثرة في المطابع كحروف طباعة، حيث إن الرصاص يضمن الكلفة ودرجة الانصهار المنخفضتين وقابلية السباكه الجيدة، ويضمن الأنتمون الصلادة ومقاومة الاحتكاك المناسبتين وخفض درجة حرارة السباكه، في حين أن القصدير يضمن السيولة والانسيابية الجيدة ويقلل من التقصف ويصغر الحجم الحبيبي.

تستعمل سبائك الرصاص والقصدير والأنتمون بكثرة أيضاً لإنتاج المحامل، كما سنبين لاحقاً في الفصل الخاص بسبائك المحامل.

1-2-1- القصدير وسبائكه : Sn and its Alloys

1- القصدير النقي : Pure Tin

القصدير معدن ابيض اللون لين يمتاز بخواص مقاومة جيدة ضد التآكل وخواص تزييت جيدة. يستهلك الجزء الأكبر من مـــنـــتـوج القصدير لتغليف الصفائح الفولاذية والأنابيب النحاسية المستعملة لنقل الماء الصافي الحاوي على كمـيات كبيرة من الأوكسجين وثاني أوكسيد الكبريت. يستعمل هذا المعدن أيضاً بكميات لا بأس بها كعنصر سبك في النحاس والألمنيوم والرصاص، كما بينا في الفصول الخاصة بهذه المعادن.

2- سبائك القصدير : Sn- Alloys

يضاف الرصاص إلى القصدير لإنتاج سبائك اللحام ذات المقاومة الأعلى من السبائك ذات الأساس من الرصاص. وتستعمل سبائك القصدير الحاوية على (5.0%) أنتمون أو (5.0%) فضة كسبائك لحام في المعدات الكهربائية، وهي الأفضل لهذا الغرض من السبائك ذات الأساس

من الرصاص، لأنها تمتلك توصيلاً كهربائياً أفضل. ويضاف النحاس والأنتمون إلى القصدير لإنتاج سبائك المحامل، كما سنبين لاحقاً في الفصل الخاص بهذه السبائك.

3-1-1- الزنك وسبائكه : Zn and its Alloys

1- الزنك النقي : Pure Zinc

الزنك معدن أبيض اللون سهل التشكيل بأساليب التشكيل الاعتيادية، يعيد تبلوره في درجة تحت درجة حرارة الغرفة، لذا فهو ذاتي التخمير (Self-Annealing) ولا يمكن اصلاده إجهادياً في درجة حرارة الغرفة. تزداد درجة حرارة إعادة تبلوره بانخفاض مقاومة ووجود عناصر السبك فيه، حيث يمكن اصلاده بالتشكيل على البارد، مما يؤدي إلى ارتفاع صلادته ومقاومته.

يستعمل الزنك العالي النقاوة لإنتاج المبثوقات مثل حاويات البطاريات وألواح كتابة الأسماء ومعدات الزينه المنزلية. ويستهلك الجزء الأكبر من منتوج الزنك لتغليف الصفائح الفولاذية لغرض الحماية من التآكل، حيث يكون أكثر انودية (Anodic) من الفولاذ، فيقوم مقام القطب الموجب المضحى به (Sacrificial Anode) في الأجواء التآكلية، فيستهلك الزنك في حين يبقى الفولاذ في مأمن من التآكل.وتغلف الصفائح الفولاذية بأساليب مختلفة بالزنك مثل الطلاء الكهربائي والغلفنه الساخنة بالغطس (Hot-Dip Galvanising) والغلفنة الكهربائية والصبغ بالزنك أو الرش بالمعدن السائل وغيرها من الأساليب. المعدات التي تغلف بالزنك هي عادة الصفائح والصامولات واللوالب والأنابيب الكبيرة والصغيرة والخزانات والأسلاك. ويستعمل أوكسيد الزنك لإنتاج السمنت الطبي (طب الأسنان) والزجاج وعيدان الكبريت والأصباغ والمعدات المطاطية وإطارات السيارات والأنابيب.

2- سبائك الزنك : Zn- Alloys

تسبب إضافة الرصاص والكادميوم إلى الزنك زيادة في الصلادة والجسوءة، وتستعمل السبائك الناتجة لإنتاج حاويات البطاريات الملحومة. تمتاز سبائك الزنك والنحاس والتيتانيوم ذات نسبة (1.5-0.5%) نحاس و (1.2-1.5%)تيتانيوم بمقاومة جيدة ضد التزحف، إضافة إلى سهولة اصلادها بالتشكيل، وتستعمل لإنتاج ألواح التسقيف المتموجة والدرافيل الموجهة (Leaders) ومزاريب المياه. وتستعمل سبائك الزنك والألمنيوم (4.0%) والمغنسيوم (0.04%) والنحاس (3.5%) كحد أقصى لإنتاج الألواح المدرفلة المستعملة لقوالب تشكيل الصفائح الرقيقة من الفولاذ والألمنيوم وسبائكه (Blanking).تمتاز مسبوكات سبائك الزنك المنتجة بالسباكة في القوالب المعدنية الدائمية (Die Casting) بسهولة السباكه وانخفاض التكاليف وبمقاومة أعلى من كافة المسبوكات الأخرى عدا سبائك النحاس. كما تمتاز هذه المسبوكات بسهولة ضبط ابعادها عند السباكه وسهولة تشغيلها، إضافة إلى مقاومتها الجيدة ضد التآكل السطحي. وتستعمل هذه المسبوكات تحت درجة (90 مْ)، حيث إنها تفقد ما يساوي (40%) من مقاومة شدها و (30%) من صلادتها فوق هذه الدرجة.

تمتاز مسبوكات سبائك الزنك والألمنيوم والمغنسيوم المنتجة بالسباكه في القوالب المعدنية بقابليتها على الاصلاد بالترسيب والأزمان. من أهم هذه السبائك السبيكه الحاوية (4%) ألمنيوم و (0.04%) مغنسيوم والمسماة بسبائك الزاماك (Zamak) وتستعمل لإنتاج بعض معدات

السيارات والمعدات المنزلية. هنالك سبائك أخرى تحوي النحاس بنسبه حوالي (1.0%) إضافة إلى الألمنيوم والمغنسيوم، وتمتاز بصلادة ومقاومة وقابلية سباكة أفضل بعض الشئ من السبائك أعلاه.

1-2- المعادن الثمينة : Precious Metals

تشمل مجموعة المعادن الثمينه الفضة والذهب والبلاتين إضافة إلى معادن أخرى ضمن مجموعة البلاتين مثل البلاديوم والأرديوم والروديوم وغيرها. تمتاز المعادن الثمينة بليونتها وتوصيلها الكهربائي الجيد ومقاومتها العالية جداً ضد التآكل في الحوامض والمواد الكيمياوية الشائعة.

1-2-1- الفضة وسبائكها : Silver and its Alloys

1- الفضة النقية : Pure Silver

الفضة معدن أبيض لماع يسهل تشكيله ويمتاز بأقصى قابلية للتوصيل الكهربائي من بين كافة المعادن وبمقاومة عالية ضد التآكل والتأكسد في الجو الخارجي، حيث يكوّن أوكسيداً واقياً على السطح، إلا أنها تكون حساسة جداً ضد الكبريت، حيث تتكون مركبات داكنه اللون على سطحها نتيجة التفاعل مع هذا العنصر.تستعمل الفضة بكثرة للحلي والنقود المعدنية، إضافة إلى المعدات الطبية والكيمياوية والمنزلية. ويضاف النيكل بنسبة (0.1%) إلى (0.2%) إلى الفضة النقية لزيادة مقاومته. وتستعمل الفضة النقية في المعدات الكهربائية التي تستوجب التوصيل الكهربائي العالي إلى جانب المقاومة ضد التآكل، كما تستعمل لأغراض التصوير الفوتوغرافي.

2- سبائك الفضة :Silver Alloys

أ- سبائك الفضة والنحاس : الفضة والنحاس يقبلان الذوبان جزئياً في بعضهما بعضا، لذا فإنه بالإمكان اصلاد السبائك الناتجة بالاصلاد بالترسيب أو الأزمان. من أهم هذه السبائك :-الفضة الاسترلينية (Sterling Silver) الحاوية على (75%) نحاس، و فضة النقودالمعدنية (Coin Silver) الحاوية على (10%) نحاس وكلتاهما قابلتان للاصلاد بالترسيب، وسبيكة اليوتكتك الحاوية (28%) نحاس والمستعملة لأسلاك اللحام بالبراص.

ب- سبائك الفضة والنحاس والزنك، التي تسمى عادة بسبائك اللحام بالمونة (Silver Solders) أو سبائك اللحام بالبراص (Silver Brazing Alloys) والمستعملة للحام المعادن والسبائك الحديدية واللاحديدية.

1-2-2- الذهب وسبائكه : Au and its Alloys

1- الذهب النقي : Pure Gold

يمتاز الذهب النقي بليونته وتوصيله وتوصيله الكهربائي الجيد ومقاومته الممتازة ضد التآكل في الحوامض والقواعد عدا الماء الملكي. يستعمل الذهب بشكل أساسي لإنتاج الحلي والنقود المعدنية ولأغراض طب الأسنان، إلا أنه يستعمل أيضاً في الكثير من الصناعات الهندسية، وخاصة لأغراض الطلاء الكهربائي للمعدات الكهربائية التي تتطلب التوصيل الكهربائي الجيد إلى جانب مقاومة التآكل العالية. يستعمل الذهب لطلاء موجهات الموجات (Wave Guiders) وشبكات الأسلاك الكهربائية في المعدات الإلكترونية ومعدات النحاس الكهربائي. كما يستعمل الذهب العالي النقاوة كقوابس (Fuse) لحماية الأفران الكهربائية وكأقطاب مستقبله (Target) في أجهزة الأشعة السينية وكبطانات للأجهزة الكيمياوية.

2- سبائك الذهب : Gold Alloys

من أهم سبائك الذهب :-

أ- السبيكه الــحاوية على (70%) ذهب و (30%) فضة ذات درجة الانجماد حوالي (1230 مْ)،والتي تستعمل كسلك لحام ذو درجة انصهار عالية للحام البلاتين.

ب- السبيكه الحاوية على (49.5%) ذهب و (40.5%) بلاتين و (10%) حديد ذات المقاومة الكهربائية النوعية العالية جداً والتي تستعمل لإنتاج الأسلاك المستعملة في مقاييس فرق الجهد الكهربائي.

1-2-3- البلاتين وسبائكه : Pt and its Alloys

1- البلاتين النقي : Pure Platinum

يعتبر البلاتين من أهم المعادن في مجموعة البلاتين وأكثرها شيوعاً . من أهم خواصه المقاومة العالية ضد التآكل ودرجة الانصهار العالية واللون الابيض والمطيلية الجيدة. يستعمل البلاتين النقي في المزدوجات الحرارية (لغاية 1600 مْ) ومعدات التماس الكهربائي وبوادق ومعدات مختبرية وأقطاب كهربائية ومعدات مقاومة للحرارة والتآكل والحلي.

2- سبائك البلاتين : Platinum

من أهم سبائك البلاتين مايأتي :-

أ- سبائك البلاتين والروديوم الحاوية على (3.5-4.0%) روديوم أو الحاوية على (10%) روديوم.

تستعمل السبيكه الأولى لإنتاج بوادق الصهر بدلاً من بوادق الصهر المصنعة من البلاتين النقي. وتستعمل السبيكه الثانية كعامل مساعد (Catalyst) لأكسدة غاز الأمونيا في عملية إنتاج حامض النتريك. ونظراً لمقاومتها العالية ضد الزجاج المنصهر، لذا فأنها تستعمل لإنتاج النفاثات المستعملة في إنتاج الزجاج، وذلك إضافة إلى استعمالها في المزدوجات الحرارية الشائعة الاستعمال. وتستعمل سبائك البلاتين والروديوم الحاوية على (10-40%) روديوم لإنتاج الملفات الكهربائية المستعملة في الأفران التي تعمل تحت درجات حرارة تتراوح بين (1540-1800 مْ).

ب- سبائك البلاتين والتنجستن الحاوية بين (4-8%) تنجستن والمستعملة في أقطاب الشرارة الكهربائية (Spark-Plug) في الطائرات ومعدات التماس الكهربائي وشبكات الأسلاك الكهربائية في معدات الرصد والرادارات، وأسلاك مقياس فرق الجهد الكهربائي والمحامل المستعملة في المعدات المعرضة إلى ظروف تآكل عنيفة.

جـ- سائك البلانين والكـوبالت الحاوية على حوالي (23%) كوبالت والتي تمتاز بخواصها لمغناطيسية الفائقة والمستعملة كمغانيط دائمية في الأجهزة الدقيقة والتي تحتاج إلى خاصية المغناطيسية لفترات قصيرة جداً.

الجدول رقم (11) يبين أهم الخواص الفيزياوية والميكانيكية لعدد من أهم المعادن الثمينة.

1-3- معادن أخرى : Other Metals

1-3-1- التنجستن والمولبدنوم : W and Mo

يمتاز هذان المعدنان بالخواص الآتية :-

أ- المقاومة العالية ضد التعرية (Erosion) بتأثير القوس الكهربائي.

ب- درجة انصهار عالية جداً ودرجة غليان عالية.

جـ- مقاومة عالية ضد اللحام والتآكل بالتنقر (Pitting).

تستعمل هذه المعادن في معدات التماس الكهربائي التي تعمل تحت ضغوط عالية والتي تعمل بصورة متقطعة أو مستمرة. من أهم مساوئ هذه المعادن هو ميلها إلى التأكسد عند التعرض إلى الشرارة الكهربائية العنيفة. بالإمكان التغلب على هذه الصعوبة باستعمال ضغوط تماس عالية جداً، أو باستعمال دوائر واقية تعمل على تخفيف شدة الشرارة الكهربائية. يكثر استعمال التنجستن أيضاً كأقطاب موجبة في أجهزة الأشعة السينية وكأقطاب لحام في طريقة اللحام بالقوس الكهربائي. ويستعمل المولبدنوم بكثرة في أسلاك الأفران الكهربائية التي تعمل في درجـــات حرارة عالية والمزدوجات الحرارية

(التنجستن - المولبدنوم) التي تستعمل لقياس درجات الحرارة العالية جداً وكأسلاك في المصابيح الزئبقية. ويكثر استعمال هذين المعدنين سوية لإنتاج الكربيدات الملبدة (Sintered Carbides) بطريقة متالورجيا المساحيق.

يضاف كلا المعدنين كعناصر سبك إلى الفولاذ، حيث يعمل التنجستن على تصغير الحجم الحبيبي وعلى زيادة المقاومة ضد التلين في درجات الحرارة العالية وخاصة في فولاذ عدد القطع السريع وقوالب التشكيل على الساخن. ويعمل المولبدنوم على تحسين خواص الصلادة والمقاومة في درجات الحرارة العالية وتحسين قابلية الاصلاد، إضافة إلى عمله ضد تقصف المراجعة (Temper Brittleness).

1-3-2- الكوبالت وسبائكه : Co and its Alloys

يلي الكوبالت الحديد مباشرة من حيث خواصه الفيرومغناطيسية القوية، لذا يكثر استعماله في السبائك المغناطيسية الدائمية. ويستعمل أيضاً كعنصر سبك في الأنواع من الفولاذ السبائكي المعروفة بالفولاذ القابل للاصلاد بالأزمان (Maraging Steel)، وأيضاً كعنصر رابط في الكربيدات الملبدة.ورغم أن الكوبالت لا يقاوم التآكل بشكل جيد، إلا أن سبائكه تقاوم التآكل بشكل متميز، وخاصة في درجات الحرارة العالية. يكون معظم هذه السبائك صعب التشكيل، لذا يتم تشكيله بالسباكه الدقيقة (Investiment Casting). من أهم هذه السبائك:-

أ- السبيكـه الحاوية علـى (52.0%) كوبالت و (29.5%) كروم و (10.5%)

نيكل و (%7.0) تنجستن و (%0.25) كربون و (%0.01) بورون، وتستعمل في أرياش التوربينات الغازية.

ب-السبيكة الحاوية على (%60.0) كوبالت و (%21.5) كروم و (%9.0) تنجستن و (%4.5) تنتالوم و (%2.25) زركونيوم و (%1.0) كربون و (%0.75) تيتانيوم، وتستعمل لأرياش المحركات النفاثة.

جـ- السبيكة الحاوية على (%67.0) كوبالت و (%25.0) تنجستن و (%3.0) كروم و (%2.0) رينيوم و (%1.0) زركونيوم و (%1.0) تيتانيوم و (%0.4) كربون، وتستعمل في المعدات الفضائية تحت درجات الحرارة العالية.

1-3-3- الفناديوم : V

يمتاز الفناديوم بانخفاض امتصاصه للنيوترونات، مما يؤهله للاستعمال كبديل عن معادن أخرى في مجالات الهندسه النووية، إلا أن سهولة تأكسده في درجات الحرارة العالية يحد من هذا الاستعمال، كما هي الحال مع معدن النيابيوم. ويمتاز الفناديوم العالي النقاوة بمطيلية وقابلية تشكيل جيدتين، مما شجع على التفكير في إحلاله محل التيتانيوم في المجالات التي تحتاج إلى مقاومة عالية تحت ظروف درجات الحرارة المنخفضة.

يضاف الفناديوم كعنصر سبك إلى الفولاذ السبائكي، حيث يعمل على تصغير الحجم الحبيبي والحد من نموه خلال المعاملات الحرارية، ويساعد على تكوين الكربيدات القوية وزيادة استقرارها، ويزيد من قابلية اصلاد الفولاذ. ولعل من أهم تأثيرات الفناديوم في الفولاذ السبائكي هو أنه يزيد من المقاومة ضد التلين في درجات الحرارة العالية، لذا يستعمل بكثرة في فولاذ عدد القطع السريع وقوالب التشكيل على الساخن.

1-3-4- البورون : B

يمتاز البورون النقي بأنه صلد جداً مع درجة انصهار عالية تبلغ
(2300 مْ). يضاف البورون بكميات قليلة لا تتجاوز (0.0005-0.005%) إلى الفولاذ السبائكي، حيث يعمل على زيادة قابلية الاصلاد، وبذلك يمكن اختزال كميات عناصر السبك الأخرى التي تضاف إلى الفولاذ لنفس الغرض، إضافة إلى أنه يحسن قابلية التشكيل والتشغيل في الفولاذ. ويكثر استعمال الفولاذ الحاوي على البورون للأغراض الإنشائية التي تتطلب مقاومة عالية جداً. لقد اتسع استعمال البورون لإنتاج المواد المركبة
(Composite Materials) مع الفولاذ والألمنيوم والتي تمتاز بمعامل مرونة فائقة.

1-4- المعادن النادرة والسبائك الفائقة:

Uncommon Metals and Super Alloy

لقد أدى التطور المستمر في مجالات الهندسة النووية وعلوم الفضاء إلى التفكير جدياً في البحث عن معادن جديدة تغطي الكثير من الاستعمالات الهندسية التي تتطلب خواصاً لا تتوافر في المعادن والسبائك الشائعة الاستعمال.

فيما يلي نستعرض عدداً من المعادن النادرة وسبائكها الشائعة الاستعمال كمواد هندسية هامة.

1-4-1- المعادن النادرة : Rare Metals

1-4-1-1- البريليوم (Beryllium)

يعتبر البريليوم من المعادن الخفيفه، إلا أنه يمتلك درجة انصهار عالية جداً، كما يتضح من الجدول رقم (12)، بحيث يمكن استعماله في مديات حرارية واسعة. يمتاز هذا المعدن بمقاومة جيدة ومقاومة لا بأس بها ضد التآكل. ونظراً لانخفاض وزنه النوعي (1.8 غم / سم ^{3}) والذي يقل عن الوزن النوعي للألمنيوم، فإنه يعتبر من المعادن الهامة في مجال الطائرات وعلوم الفضاء. إلا أن ندرة هذا المعدن وصعوبة تشكيله، بسبب انخفاض مطيليته، يحدان من هذه الأهمية، إضافة إلى كونه ساماً. على الرغم من ذلك، فإنه بالإمكان تشكيل هذا المعدن بعملية البثق على الساخن إلى قضبان وأنابيب ذات مقاطع مختلفة. من أهم خواصه ذات الأهمية في مجالات الهندسة النووية، قابليته المنخفضة على امتصاص النيوترونـــات، بمعنى أنه لا يعيق مرور النيوترونات خلاله. لذا فإنه قد أستعمل سابقاً لخزن الوقود النووي، إلا أن ندرته أدت إلى إحلال سبائك الزركونيوم محله، كما سنبين لاحقاً. يستعمل البريليوم كنوافذ لأجهزة الأشعة السينية، حيث أنه يسمح بمرور هذه الأشعة خلاله، ويستعمل بشكل محدود في هيكل المعدات الفضائية وأجزاء التوربينات ذات المحركات النفاثة.

1-4-1-2- الزركونيوم وسبائكه : Zr and its Alloy

يمتاز الزركونيوم عن البريليوم بوجوده بكميات أوفر وبمقاومة أفضل ضد التآكل، إضافة إلى قابلية تشكيل أفضل، وخاصة لدى استعماله كسبيكه. إلا أنه من الضروري تسخينه لغرض التشكيل بمعزل عن غازات الأوكسجين والهيدروجين والنتروجين، حيث أنها تكوّن محاليل جامدة تداخلية قصفه مع الزركونيوم وسبائكه.

تنخفض مقاومة الزركونيوم في درجات الحرارة العالية، إضافة إلى سرعة تآكله تحت هذه الظروف وبتأثير بخار الماء وثاني أوكسيد الكربون. بالإمكان التغلب على هذه الصعوبات باستعمال سبائك الزركونيوم بدلاً من المعدن النقي، والتي من أهمها:-

أ- سبيكة زركالوي (II) التي تحوي (1.5%) قصدير و (0.12%) حديد و (0.05%) نيكل و (0.1%) كروم.

ب- سبيكة زركالوي (IV) التي تحوي (1.5%) قصدير و (0.2%) حديد و (0.1%) كروم.

تستعمل هذه السبائك لخزن الوقود النووي وكأجزاء من هياكل المفاعلات، وتمتاز بانخفاض امتصاصها للنيوترونات وبمقاومة عالية ومقاومة جيدة ضد التآكل.

1-4-1-3- الهافنيوم : Hf

يوجد هذا المعدن دائماً مع الزركونيوم في خاماته، ويحوي الزركونيوم كميات قليلة منه تسبب زيادة في امتصاصه للنيوترونات. وتتشابه الخواص الكيمياوية للمعدنين إلى حد يجعل عملية فصلهما عن بعضهما البعض صعبة ومكلفة جداً. إلا أنهما يختلفان تماماً في قابلية امتصاصهما للنيوترونات، حيث تكون هذه القابلية منخفضة في الزركونيوم وعالية في الهافنيوم. لذا فإن الهافنيوم أستعمل سابقاً كقضبان سيطرة في المفاعلات النووية، إلا أنه تم استبداله بمعادن أخرى أقل كلفه، مما سبب تدهوراً في أهميته الصناعية.

1-4-1-4- التانتالوم : Ta

تتجسد أهمية هذا المعدن في أنه يجمع بين خواص المطيلية العالية والمقاومة الفائقة ضد التآكل ودرجة الانصهار العالية، كما يتضح من الجدول رقم (12). يقاوم التانتالوم التآكل في معظم الحوامض والقواعد، مما يؤهله للاستعمال في الأجهزة الكيمياوية المقاومة للحوامض. ونظراً لكون هذا المعدن غير مشع ولتكوينه سطحاً يمكن أن ينمو عليه اللحم البشري، لذا يكثر استعماله في جراحة العظام وكبديل عن الأجزاء المفقودة منها. بالإمكان معاملة المعدن آنودياً (Anodizing)، حيث تتكون عـلى سطحه قشرة أوكسيدية مستقرة جداً وعازلة للكهربائية بشكل جيد، مما يؤهل المعدن تحت هذه الظروف لإنتاج المكثفات الإلكتروليتية الصغيرة الحجم،

حيث أن هذه القشرة لا تتأثر بمحلول الإلكترولايت. يكثر استعمال هذه المكثفات في الدوائر الإلكترونية المتطورة. من أهم سبائك التانتالوم :-

أ- السبيكه الحاوية على (90%) تانتالوم و (10%) تنجستن.

ب- السبيكه الحاوية على (97%) تانتالوم و (2.5%) تنجستن و(0.15%) نيوبيوم.

تستعمل هذه السبائك لأرياش وصمامات التوربينات البخارية والحاويات والأنابيب المستعملة في المصانع الكيمياوية.

1-4-1-5- النيابيوم : Nb

يسمى هذا المعدن أيضاً بالكولومبيوم، ويمتاز مثل الزركونيوم بانخفاض قابلية امتصاصه للنيوترونات، إضافة إلى درجة انصهاره العالية جداً، مما يؤهله للاستعمال لحاويات الوقود النووي في المفاعلات التي تعمل تحت درجات الحرارة العالية. من مساوئ النيوبيوم تفاعله بسهولة مع الغازات المتكونه في المفاعلات في درجات الحرارة التي تتجاوز (500مْ). إلا أن بعض سبائكه يمتاز بمقاومة جيدة جداً ضد هذه الأكسدة، مما يؤهلها للاستعمال تحت ظروف درجات الحرارة العالية، ومن أهم هذه السبائك :-

أ- السبيكه الحاويه على (80%) نيوبيوم و (10%) تانتالوم و(10%) تنجستن.

ب- السبيكه الحاويه على (88%) نيوبيوم و (10%) هافنيوم و(10%) تيتانيوم و (0.7%) زركونيوم.

الجدول رقم (12) يبين أهم الخواص الفيزياوية للمعادن النادرة.

الفصل الرابع

سبائك المحامل

Bearing Alloys

الفصل الرابع

سبائك المحامل

Bearing Alloys

1- المقدمة:-

المحامل هي المعدات التي تقوم بإسناد الأجزاء المتحركة من المكنات وبنقل الحركة بين هذه الأجزاء، لذا فإنها لكي تكون طويلة العمر، لابد من أن تتعرض إلى أدنى حد من الاحتكاك. إن تصميم المحامل والمواد التي تصنع منها هما العاملان الرئيسيان اللذان يقرران عمل هذه المحامل بالشكل المطلوب ولأطول فترة ممكنة. تتكون قشرة من الزيت تفصل بين الأجزاء المتحركة لدى كون التزييت في المحمل جيداً، في هذه الحالة تكون مادة أو تركيب المحمل ليست ذات أهمية بالغة. إلا أنه ليس بالإمكان دائماً، وخاصة لدى البدء بالتشغيل أو عند الإيقاف أو تحت ظروف التشغيل الاعتيادية، الاحتفاظ بهذه القشرة الزيتية. من هنا فأن قابلية احتفاظ المحامل بهذه القشرة الزيتية على سطحها هي من الخواص البالغة الأهمية. وكان يعتقد إلى زمن قريب بأن السبائك الأحادية الطور (المتجانسة) لا تفي بالمتطلبات الضرورية التي يجب توافرها في المحامل، بل لابد من استعمال سبائك تتكون من طور صلد مطمور في طور أساس يتكون بدوره من طورين. في وقتنا الحاضر هنالك الكثير من المحامل التي تشذ عن القاعدة.

يمتاز الطور الأساس اللين بقابليته للخضوع تحت الضغط الموضعي الشديد، والناتج على سبيل المثال نتيجة عدم التوازن الدقيق لعمود الدوران، وبذلك فإنه يمنع الالتصاق الموضعي (Local Seizing). إن اختيار هذا الطور يعتمد على متوسط الضغط أو الحمل المسلط على المحمل، فيستعمل طور أساس برونزي لدى كون الحمل عالياً مع سرعة دوران منخفضة، في حين أنه إذا كان الحمل خفيفاً يمكن استعمال طور أساس من سبيكة الرصاص- الأنتمون بنسب تساوي تركيب اليوتكتك. تصنف المحامل بصورة عامة إلى الأنواع الاتية :-

1- المحامل المستوية (Plain Bearings).

2- المحامل الدرفيلية والكروية (Roller- and Ball- Bearings).

تمتاز المحامل الدرفيلية والكروية عن المحامل المستوية بما يأتي :-

1- يكون الاحتكاك الأولي في بداية التشغيل أقل.

2- يكون عمود الدوران مثبتاً بدقة أكثر في الوضع الصحيح.

3- تكون تكاليف الصيانة أقل.

4- تتحمل التحميل الشعاعي (Radial Loading) والتحميل المحوري (Axial Loading وتمتاز المحامل المستوية بما يأتي :-

1- انخفاض التكاليف.

2- إمكانية العمل تحت ظروف التحميل الصدمي (Shock Loading).

تصنع المحامل الدرفيلية والكروية عادة من الفولاذ الذي يمكن اصلاده بعد التشغيل، وتصنع المحامل المستوية عادة من الفولاذ الكربوني الصرف بنسبة كربون (0.90%)، الذي يمتاز بانخفاض تكاليفه، إلا أنه لابد من استعمال الفولاذ السبائكي للأغراض الخاصة. وأكثر أنواع الفولاذ السبائكي استعمالاً لهذا الغرض هو الفولاذ الحاوي على نسب منخفضة من واحد أو أكثر من العناصر مثل الكروم والنيكل والمولبدنوم مع خفض نسبة الكربون فيها إلى حوالي (0.50%). يمتاز هذا الفولاذ بأنه يجمع بين المتانة العالية والصلادة العالية بما فيها الكفاية لمقاومة الاحتكاك. كما يمكن استعمال الفولاذ الكربوني الواطئ السبائك والمكربن والذي يمتاز بأنه يجمع بين خاصتي الصلادة العالية على السطح لمقاومة الاحتكاك والمتانة الجيدة في المركز لمقاومة الصدمة. أما بالنسبة للمحامل التي تعمل في الأجواء والأوساط المساعدة على التآكل،فيستعمل الفولاذ المقاوم للصدأ ذو نسبة كروم تساوي حوالي (17.0%). تصنف المحامل المستعملة حالياً إلى ثلاثة أصناف :-

1- المحامل المصنعة من السبائك الثنائية الطور، طور صلد مطمور في طور أساس لين،مثل محامل المعادن البيضاء ومحامل البرونزات.

2-المحامل المصنعة من السبائك الثنائية الطور، طور لين مطمور في طور أساس صلد. يقوم الطوراللين في هذه المحامل مقام عامل التزييت، مثل سبائك الألمنيوم- القصدير والبرونزات الحاوية على الرصاص ومادة P.T.F.E. (Polytetrafluorethene) المقواة بجسيمات صلدة من البرونز.

3- المحامل المصنعة من المواد الأحادية الطور،مثل النايلون ومادة P.T.FE.، والتي تستعمل لأغراض خاصة كما سنبين لاحقاً.

فيما يلي نستعرض عدداً من أنواع المحامل استناداً إلى التصنيف المذكور أعلاه.

1-1- المحامل الصنعة من السبائك النحاسية الأساس(برونزات المحامل):

Bearing Bronzes

تستعمل هذه السبائك للمحامل التي تعمل تحت التحميل العالي نسبياً، وذلك بخلاف المحامل المصنعه من المعادن البيضاء، كما سنبين لاحقاً. وأوسع هذه المحامل انتشاراً هي المحامل المصنعة من برونزات الفسفور الحاوية على حوالي (10-13%) قصدير و (0.3-1.0%) فسفور، والمحامل المصنعه من برونزات القصدير الاعتيادية والحاوية عادة على حوالي (10.0-15.0%) قصدير. تفي هذه السبائك بمعظم المتطلبات الضرورية للمحامل، حيث إنها تتكون من طور أساس لين ومتين من المحلول الجامد ($\propto$) تنغرس فيه جسيمات صلدة من المركب شبه المعدني (∂)، أي ($Cu_{31}Sn_8$).

وتستعمل للمحامل الصغيرة الحجم من هذه الأنواع غالباً البرونزات الملبدة (Sintered Bronzes) والتي تصنع بأساليب متالورجيا المساحيق. وتتكون السبيكة من مزيج من مسحوق النحاس بنسبة (90.0%) ومسحوق القصدير بنسبة (10.0%) إضافة إلى كميات من مسحوق الجرافيت. يتم كبس وتلبيد هذا المزيج الذي يتحول إلى سبيكه شبه مسامية وذاتية التزييت، كما سنبين في فقرة لاحقة. تستعمل هذه السبائك لصناعة المحامل التي تعمل تحت تحميل خفيف في أعمدة الدوران التي لا يتجاوز قطرها (75.0 ملم).

تستعمل البرونزات الحاوية على الرصاص لتصنيع المحامل الرئيسية في محركات الطائرات والسيارات ومحامل أعمدة الدوران في محركات الديزل. تمتاز هذه المحامل بمقاومتها الجيدة ضد الاحتكاك وارتفاع توصيلها الحراري الذي يساعد على بقائها بارداً أثناء التشغيل. لدى توقف التزييت لأي سبب كان فإن الرصاص سوف ينبثق نتيجة التسخين المفرط مكوناً قشرة مزيتة تمنع التصاق السطحين المتماسين. تحدث ظاهرة الالتصاق هذه (Seizure) بكثرة في محامل محركات الطائرات.

تحوي هذه السبائك على حوالي (5.0-30.0%) من الرصاص الذي لا يقبل الذوبان في البرونز المنصهر وينزع بشدة إلى الانعزال. لذا يتم تصنيع هذه المحامل عادة بعملية السباكة بالطرد المركزي (Centrifugal Casting)، وذلك لتفادي الانعزال المفرط للرصاص. كما يضاف أحياناً النيكل إلى هذه السبائك لتفادي أو تقليل انعزال الرصاص.

يـــتعرض الرصاص الموجود في هذه المحامل إلى التآكل بتأثير مركبات الكبريت الموجودة في الزيوت،لذا يـــتم طلاء أسطح المحامل بطبقة من سبيكة الرصاص - الأنديوم أو القصدير - الأنديوم وذلك لتفادي تآكل الرصاص.لقد انتشر في السنوات الأخيرة استعمال محامل تتكون من صفائح فولاذية مغطاة بطبقة من سبيكة النحاس- الرصاص بنسبة (40%) رصاص وخالية من الرصاص المنعزل. تصنع هذه المحامل عادة بأسلوب متالورجيا المساحيق.

2-1- المحامل المصنعة من سبائك المعادن البيضاء: White Metal Bearings

تكون السبائك المستعملة لهذه المحامل أما قصديرية الأساس أو رصاصية الاساس، ويسمى النوع الأول بسبائك بابيت (Babbit Alloys) وهو النوع الأفضل من بين هذه المحامل. تحتوي كافة هذه السبائك على الأنتمون بنسبة تتراوح بين (3.5-15.0%)، الذي يتحد الجزء الأكبر منه مع القصدير مكوناً المركب شبه المعدني (Snsb). يكوّن هذا المركب بلورات شبه مكعبة الشكل تسمى عادة بشبه المكعبات (Cuboids)، كما يظهر في الشكل رقم (9). تمتاز هذه البلورات بصلادتها ومقاومتها الجيدة ضد الاحتكاك.

الشكل رقم (10) يبين بأن قابلية ذوبان الأنتمون في القصدير تبلغ (10.3%) في درجة (246 مْ)، إلا أنها تنخفض إلى (3.5%) في درجات الحرارة الاعتيادية. لدى متابعة سبيكة من القصدير -الأنتمون تحوي (10%) أنتمون نلاحظ بأن هذه السبيكة تبدأ الأنجماد في نقطة (أ) على المخطط أعلاه، وذلك بترسيب بلورات شبه مكعبة الشكل من المركب شبه المعدني الصلد (SbSn). تمتلك هذه البلورات وزناً نوعياً أقل من الوزن النوعي للسائل المتبقي، لذا فأنها سوف تطفو على سطح السائل. يحدث تفاعل حولي أو مداري (Peritectic Reaction) في درجة (246.0 مْ) مكوناً المحلول الجامد (∝) الذي يملأ الفراغات بين بلورات المركب (SbSn).

تنخفض قابلية ذوبان الأنتمون في القصدير مع انخفاض درجة الحرارة من حوالي (10.3%) في درجة (246 مْ) إلى حوالي (3.5%) في درجة حرارة الغرفة، كما يتضح من الشكل رقم (10). نتيجة لذلك تتكون بلورات أكثر من هذا المركب (SbSn)، موزعة بشكل متجانس داخل المحلول الجامد (∝)، وذلك لدى كون التبريد بطيئاً بما فيه الكفاية. لابد من تفادي انعزال المركب (SbSn) على سطح السبيكة وأن ينتشر بشكل متجانس داخل المحلول الجامد (∝)، ويتم ذلك بأحد الأساليب الآتية :-

1- تبريد السبيكة المسبوكة تبريداً سريعاً، بحيث أنها تجمد كلياً قبل أن تسنح الفرصه لبلورات (SbSn)بالطفو على السطح.

2- إضافة نسبة تصل إلى حوالي (3.0%) من النحاس إلى السبيكة. يتحد النحاس مع شيئ من القصدير مكوناً حلقة أو شبكة من بلورات (Cu_6Sn_5) آبرية الشكل وتترسب من المنصهر قبل أن يبدأ تكوين بلورات (SbSn). تقوم هذه البلورات بحجز بلورات (SbSn) لدى تكوينها وتمنعها من الطفو إلى السطح، وبذلك فإنها تضمن بنية مسبوكة متجانسة. إضافة إلى ذلك فإن المركب (Cu_6Sn_5)، الذي يمتاز بصلادته، يحسن من خواص سبيكة

المحمل.يضاف الرصاص أحياناً إلى هذه السبائك وذلك لغرض خفض تكاليفها. يكوّن الرصاص محاليل جامدة ذات قابلية ذوبان محدودة مع القصدير والأنتمون، وتكوّن المحاليل الجامدة الناتجة بنية يوتكتيكية فيما بينها. وأحياناً لا يضاف القصدير إلى هذه السبائك، بحيث أن البلورات المكعبه أو الشبيهه بالمكعب سوف تتكون فقط من الأنتمون النقي تقريباً، وتكون مطمورة في طور أساس من سبيكة اليوتكتك، والتي تتكون بدورها من المحاليل الجامدة الغنية بالأنتمون والغنية بالرصاص.

تعاني محاليل المعادن البيضاء من نوع معين من فشل الكلال، حيث تظهر بعد فترة من الخدمة تشققات دقيقة على سطح المحمل مكونه شبكه أو حلقة متعرجة، قد تؤدي لاحقاً إلى إزالة أجزاء من أسطح المحمل. بالإمكان معالجة هذا العيب كما يأتي:-

1- استعمال سبيكة ذات مقاومة كلال عالية مثل سبيكة ذات أساس من القصدير خالية من الرصاص وتحوي حـوالي (7.0) أنتمون و(3.0%) نحاس، وقد يضاف أحياناً النيكل والكادميوم بكميات قليلة.

2- يجب أن يكون صفيح الفولاذ الساند للمحمل جيدا الربط.

3- خفض سمك المحمل إلى أدنى حد، مثلاً (0.05-0.25 ملم).

الجدول رقم (13) يبين أهم أنواع محامل المعادن البيضاء مع خواصها وتراكيبها الكيمياوية. لاحظ أن الأنواع الحاوية على الرصاص تستعمل للمحامل المستعملة لأغراض التحميل المنخفض أو المتوسط.

1-4- المحامل المصنعة من السبائك ذات الأساس من الألمنيوم : Al-Bearings

لقد تم تطوير هذه السبائك واستعمالها لتصنيع المحامل استناداً إلى النظرية القائلة بضرورة استعمال بنية مركبة تتكون من طورين مستمرين ومتكاملين أحدهما قوي وصلد يقاوم الاحتكاك والآخر لين يستطيع القيام مقام العامل المزيت تحت ظروف التماس الموضعي العالية. تحوي السبائك المستعملة لهذه الأغراض على حوالي (80%) ألمنيوم و(20.0%) قصدير. كما يتضح من الشكل رقم (11) فإن هذين المعدنيين يكونان سلسلة من السبائك الحاوية على سبيكة اليوتكتك التي تتكون بنسبة (0.5%) ألمنيوم فقط وتجمد في درجة (228مْ). لـذا فأن السبيكة ذات نسبة (80.0%) ألمنيوم و (20.0%) قصدير سوف تجمد خلال نطاق درجة حرارة تمتد إلى أكثر من (400 مْ)، مما يعني إمكانية حدوث الانعزال بشكل بالغ. يؤدي الانعزال إلى تكوين حلقة أو شبكة من القصدير حول الطور الأساس الذي يتكون من الألمنيوم، مما يحد من استمراريته. بالإمكان تكسير أو تهشيم هذه الحلقة بعملية الدرفلة على البارد ومعاملة إعادة التبلور اللاحقة إلى درجة تسمح بتكوين طور أساس مستمر وصلد من الألمنيوم.

يمكن للمحامل المصنعة من هذه السبائك العمل تحت ظروف تحميل ودرجات حرارة أعلى بكثير من تلك التي تستطيع محامل المعادن البيضاء تحملها. وتستعمل هذه المحامل عادة كمحامل رئيسية في محركات السيارات وللمحامل المعروفة بذات النهاية الواسعة (Big-End - Bearing). وتستعمل عادة على شكل صفائح مسندة بوساطة صفائح من الفولاذ.

1-5- المحامل الفضية : Silver Bearings

تستعمل الفضة لصناعة المحامل لأغراض التحميل العالي، كما هي الحال مع المحامل المستعملة في محركات الطائرات. ويغطى سطح الفضة عادة بطبقة من الرصاص لمنع الالتصاق (Seizure)، تليها طبقة من الأنديوم لتفادي تآكل طبقة الرصاص بتأثير الزيوت الحامضية، كما بينا في مكان آخر من هذا الفصل.

1-6- المحامل الثلاثية الطبقات :- Trimetal Bearings

تستعمل المحامل الثلاثية الطبقات ((Trimetal Bearings في أعمدة الدوران المستعملة في محركات الديزل في الشاحنات. وتتكون من صفيح فولاذي ساند مغطاة بطبقة بسمك حوالي (0.37 ملم) من سبيكة النحاس - الرصاص تليها طبقة بسمك (0.037 ملم) من سبيكة الرصاص - القصدير. لدى إزالة الطبقة العلوية بسبب الاحتكاك فإن الطبقة الوسطية، أي طبقة النحاس - الرصاص تقوم مقامها بصورة مرضية.

1-7- المحامل الذاتية التزييت : Self-Lubricant Bearings

لقد تم التوصل إلى إمكانية إنتاج المحامل الذاتية التزييت (Self-Lubricant Bearings)، نتيجة تطوير عمليات التشكيل بمتالورجيا المساحيق، حيث يمكن بهذه العملية إنتاج منتوجات مسامية. تصنع المحامل الذاتية التزييت من مسحوق البرونز مع التحكم بمسامية معينة فيه بعد التلبيد (Sintering). تملأ هذه المسافات لاحقاً بالزيت، الذي يندفع خارجاً من هذه المسامات لدى تسليط الحمل على المحمل وارتفاع درجة حرارته، حيث يقوم بتزييت المحمل ذاتياً وبشكل متجانس. يكثر استعمال مثل هذه المحامل عادة في الأجزاء من المحركات التي يصعب تزييتها خارجياً. وهي تستعمل بكثرة في محركات السيارات ومعدات التجميد والتثليج والغسالات.

يضاف أحياناً الجرافيت إلى هذه السبائك وذلك قبل كبسها وتلبيدها، وهو يساعد على تكوين المسامات في المحامل الناتجة، حيث إنه يحترق في درجة حرارة التلبيد مكوناً المسامات التي تملأ لاحقاً بالزيت.

1-8- المحامل اللامعدنية أو المحامل الجافة :

Dry-or Nonmetallic Bearings

تنافس المحامل اللامعدنية أو الجافة، وهي المصنعة من مواد لامعدنية مثل النايلون ومادة (Polytetraflouroethene) (P.T.F.E.)، المحامل المعدنية في مجالات عديدة. أن معامل احتكاك هذه المواد المنخفض، والذي يتراوح بين حوالي (0.1-0.3 ميكرون)، هو أقل من معامل احتكاك أية مادة صلبة أخرى. إلا أن هذه المواد لها خواص ميكانيكية رديئة، وخاصة فيما يخص الصلادة والمقاومة لذا فلا بد من تقويتها بوساطة ما يسمى عادة بمادة الحشو (Filler Material). فالمواد المركبة (Composite Materials) والتي تتكون من مادة (P.T.F.E.) أو النايلون، المقواة بجسيمات

صلدة من البرونز وكميات قليلة من الرصاص، يمكنها العمل تحت درجات حرارة تبلغ حوالي (300 مْ). ولعل أهم خواص هذه المواد هي قابليتها على العمل تحت ظروف جافة، أي من دون تزييت، من هنا أهمية استعمالها في مكنات صناعة الأغذية والغزل والنسيج، حيث أن غياب الزيت يحافظ على المنتوجات من التلوث بمركبات الزيت. كما تبرز أهميتها في الاستعمال في الأجزاء من المكنات والمحركات التي يصعب تزييتها، كما ذكرنا بخصوص المحامل الذاتية التزييت.

وتصنع المحامل من هذه المواد بتثبيت طبقة منها على سطح صفيح فولاذي ساند، حيث تستطيع العمل تحت ظروف التحميل والسرع العالية والمنخفضة وضمن نطاق درجات الحرارة تتراوح بين (200مْ) إلى (250مْ). ويضاف أحياناً الجرافيت إلى هذه المواد وذلك لزيادة قابليتها على التزييت.

من أنواع هذه المحامل، المحامل التي تستعمل في الظروف أو الأجواء المساعدة على التآكل، مثل المحامل المصنعة من النايلون المقواة بالكربون، أو النايلون المقواة بنسبة حوالي (80%) من جسيمات كروية الشكل من البرونز. الجدول رقم (14) يبين الخواص الاجمالية للأنواع المختلفة من المحامل السالفة الذكر.

ملاحظة :المعاملات الحرارية تعني :-

1- التخمير.

2- الاصلاد الإجهادي الطفيف.

3- الاصلاد الإجهادي.

4- الاصلاد الإجهادي والتخمير جزئياً.

5- الاصلاد الإجهادي والتخمير جزئياً.

6- الاصلاد الإجهادي والتخمير جـزئياً.

7- أزمان اصطناعي فقط.

8- معامل بالمجانسة ومشكل على البارد ثم معامل بالأزمان الاصطناعي.

ملاحظة :المعاملات الحرارية تعني :-
م- مسبوك رملي

1- معامل بالمجانسة.

2- معامل بالأزمان الاصطناعي.

3- معـامل بالمجانسة ثم الأزمان الاصطناعي.

4 - معامل بالمجانسة ثم الأزمان الاصطناعي لفترات طويلة.

الجدول رقم (6) : مقارنه بين الخواص النوعية لعدد من أنواع الفولاذ مع المعادن الخفيفه وسبائكها

المعدن أو السبيكه	الوزن النوعي (غم/سم^3)	معامل المرونه النوعي ×310	مقاومة الشد النوعية	مقاومة الخضوع النوعية	حد الأمان النوعي	الاستطالة (%)	صلادة برينيل
فولاذ واطئ 0.2)مولبدنوم السبائك (%0.3) كربون (%1.0)كروم و %)	7.80	26.90	78.90	49.36	36.80	31.0	+169
فولاذ مقاوم للصدأ (%0.07) كربون و(16.5) كروم و(%4.0) نيكل و (%1.0) منغنيز و (%1.0) سليكون	7.90	25.13	206.41	194.74	-	7.0	46 روكويل (c)

المعدن أو السبيكه	الوزن النوعي (غم/سم^3)	معامل المرونه النوعي ×310	مقاومة الشد النوعية	مقاومة الخضوع النوعية	حد الأمان النوعي	الاستطالة (%)	صلادة برينيل
و(2.75%) نحـاس							
الزركون + (0.02%) أوكسجين	6.4	13.13	32.82	13.13		26.0	26 ركويل (A)
زركالـوي (2)	6.5	-	74.30	48.46	-	22.0	-
التيتانيوم (99.9%)	4.5	24.90	52.90	31.11	-	54.0	-
الألمنيوم الـنقي	2.7	26.96	25.93	10.73	-	43.0	*19.0
المغنسيوم الـنقي	1.70	26.76	152.35	111.18	-	9.0	50.0

+ الصلادة قيست تحت وزن يساوي (3000 كغم) .

* الصلادة قيست تحت وزن يساوي (500 كغم) .

الجدول رقم (7) : تأثير الزنك على الخواص الميكانيكيةِ لسبائك النحاس والزنك.

نسبة الزنك (%)	مقاومة الشد (نيوتن / ملم2)	الاستطالة (%)	صلادة برينيل (قيست باستعمال كرة ذات قطر 10 ملم ووزن مقداره 500 كغم)
0	221.0	46	38
5	248.4	49	49
10	282.9	52	54
15	290.0	56	58
20	296.7	59	56
25	310.5	62	54
30	317.4	65	55
35	317.4	60	55
40 ($\alpha + \beta$)	372.6	45	75

الجدول رقم (8) : الوزن النوعي ودرجات انصهار المعادن البيضاء

المعدن	درجة الانصهار (مْ)	الوزن النوعي (غم / سم3)
الانتمون	630	6.6
الرصاص	327	11.3
الكادميوم	321	8.6
البزموث	271	9.8
القصدير	232	7.3
الانديوم	157	22.4

الزنك	420	7.1

الجدول رقم (9) : تأثير إضافة الأنتمون على الخواص الميكانيكية لمسبوكات الرصاص.

نسبة الأنتمون (%)	مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	صلادة برينيل
الرصاص النقي	17.3	4.5
1.5	23.5	7.0
2.0	29.0	8.0
3.0	32.4	9.1
4.0	39.1	10.0
5.0	43.9	11.0
6.0	47.2	11.8
7.0	49.5	12.5
8.0	51.2	13.3
9.0	52.3	13.0
10.0	52.9	14.6
11.0	52.6	14.8
12.0	51.6	15.0
13.0	50.9	15.2
14.0	48.3	15.3

الجدول رقم (10) : تأثير إضافة القصدير على الخواص الميكانيكية لسبائك الرصاص - القصدير.

نسبة القصدير (%)	مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	صلادة برينيل
5.0	22.1	8.0
10.0	28.3	11.5
15.0	33.8	12.0
20.0	37.3	11.7
30.0	42.8	12.4
40.0	45.5	13.0
50.0	48.3	14.3
60.0	49.7	10.7

الجدول رقم (11) : أهم الخواص الفيزياوية والميكانيكية للمعادن الثمينة (في حالة التخمير) .

المعدن	الرمز الكيمياوي	درجة الانصهار(مْ)	التوصيل* الكهربائي	مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	صلادة برينيل	الاستطالة (%)	معامل المرونة (نيوتن /ملم2)×310
الفضة	Ag	960	63	159.0	30	45	72.5
الذهب	Au	1063	45.7	120.8	28	40	74.5
البلاتين	Pt	1774	10.2	186.3	65	28	151.8
البلاديوم	Pa	1554	9.3	207.0	47	30	112.5
الروديوم	Rh	1966	22.2	552.0	119	-	345.0
الارديوم	Ir	2454	18.9	621.0	175	-	517.5

* التوصيل الكهربائي مقاس في درجة حرارة (20 مْ) وبوحدات (م/اوم × ملم^2).

الجدول رقم (12) : أهم الخواص الفيزياوية للمعادن النادرة.

المعدن	الوزن (غم /سم3)	درجة الانصهار (ْم)
البريليوم	1.8	1285
الزركونيوم	6.4	1852
التانتالوم	16.6	3207
النيوبيوم	8.6	2468
الهافنيوم	13.36	2130

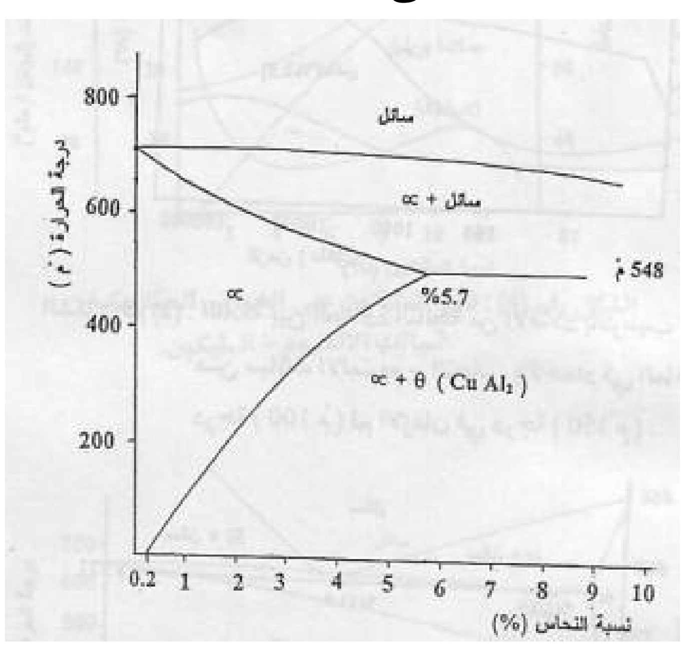
مقدمة

* معامل المحمل (Bearing Modulus) : هو المقدار الذي تتكون عنده قشرة تزييت متكاملة ، ويعتمد على عوامل عدة منها نعومة سطح المحمل .

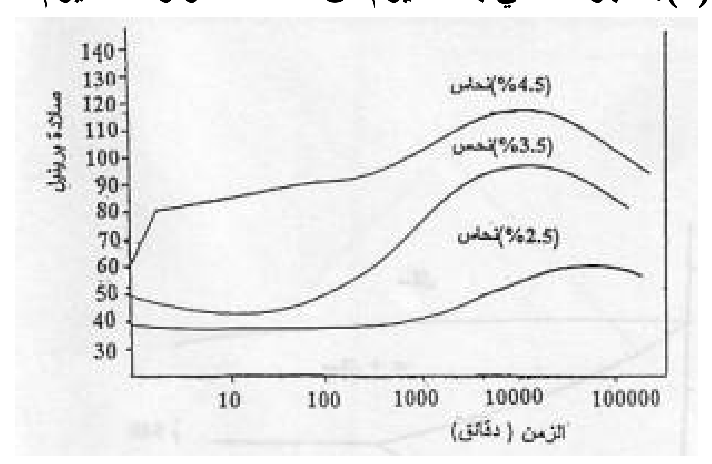
ويحتسب كما يلي :-

معامل المحمل = اللزوجة × عدد الدورات في الدقيقة الواحدة / معدل الضغط المستعمل .

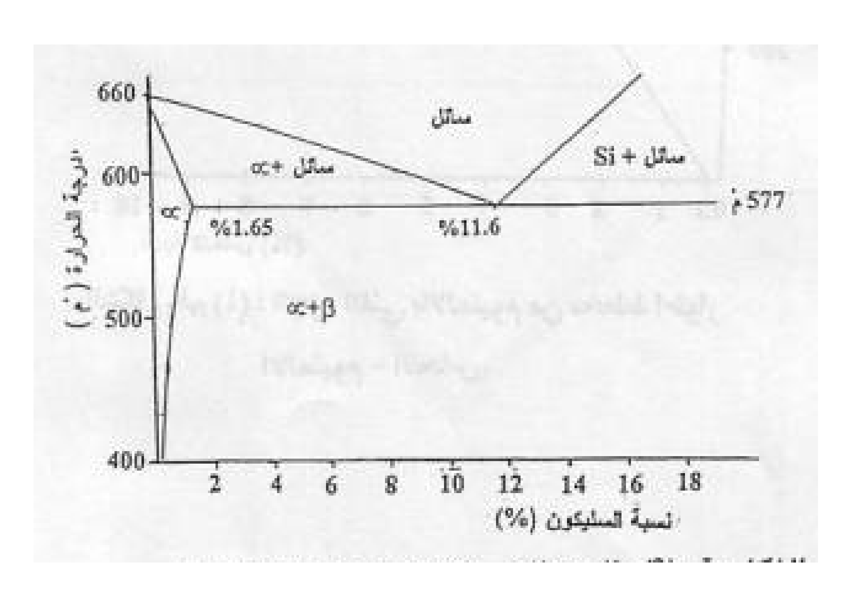
ملحق الأشكـــال



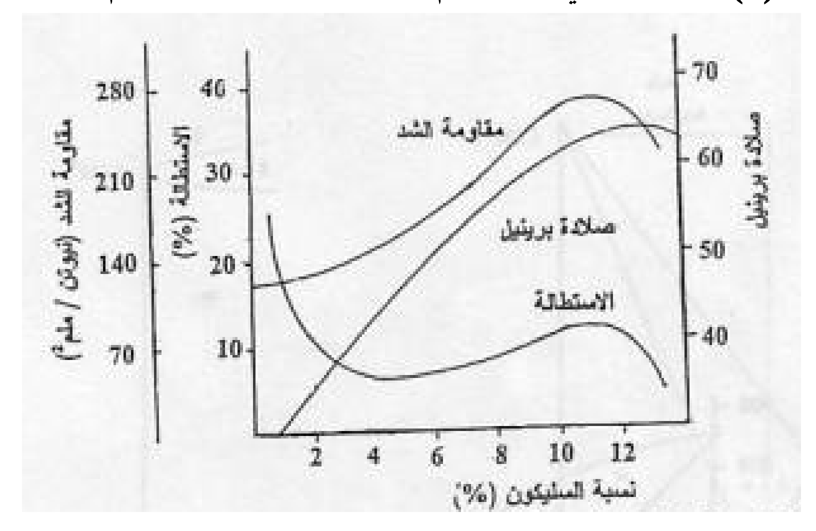
الشكل (1): الجزء الغني بالألمنيوم من مخطط أطوار الألمنيوم - النحاس



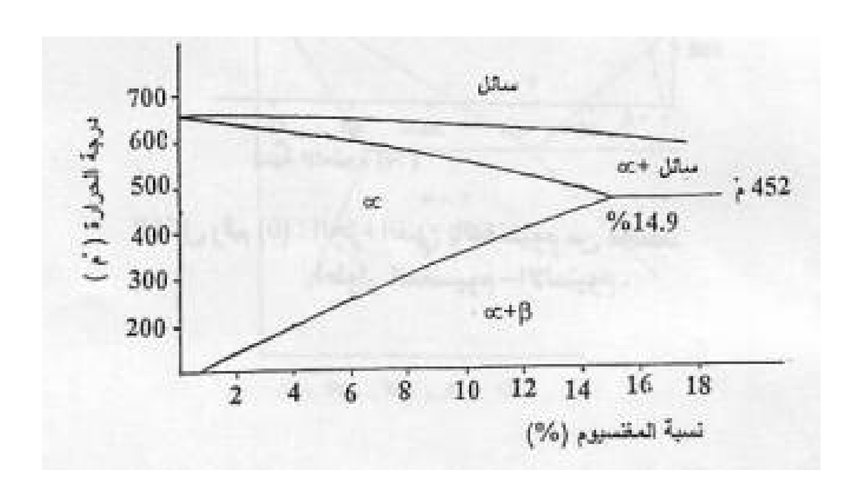
الشكل (2): العلاقة بين الصلادة الناتجة من الاصلاد بالترسيب لعدد من سبائك الألمنيوم – النحاس بالإخماد في الماء في درجة (100 م) ثم الأزمان في درجة (150م)



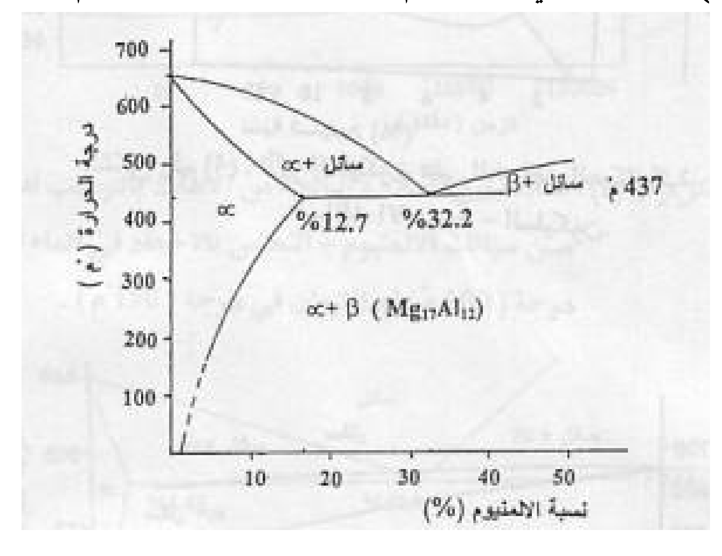
الشكل (3): الجزء الغني بالألمنيوم من مخطط أطوار الألمنيوم ـ السليكون



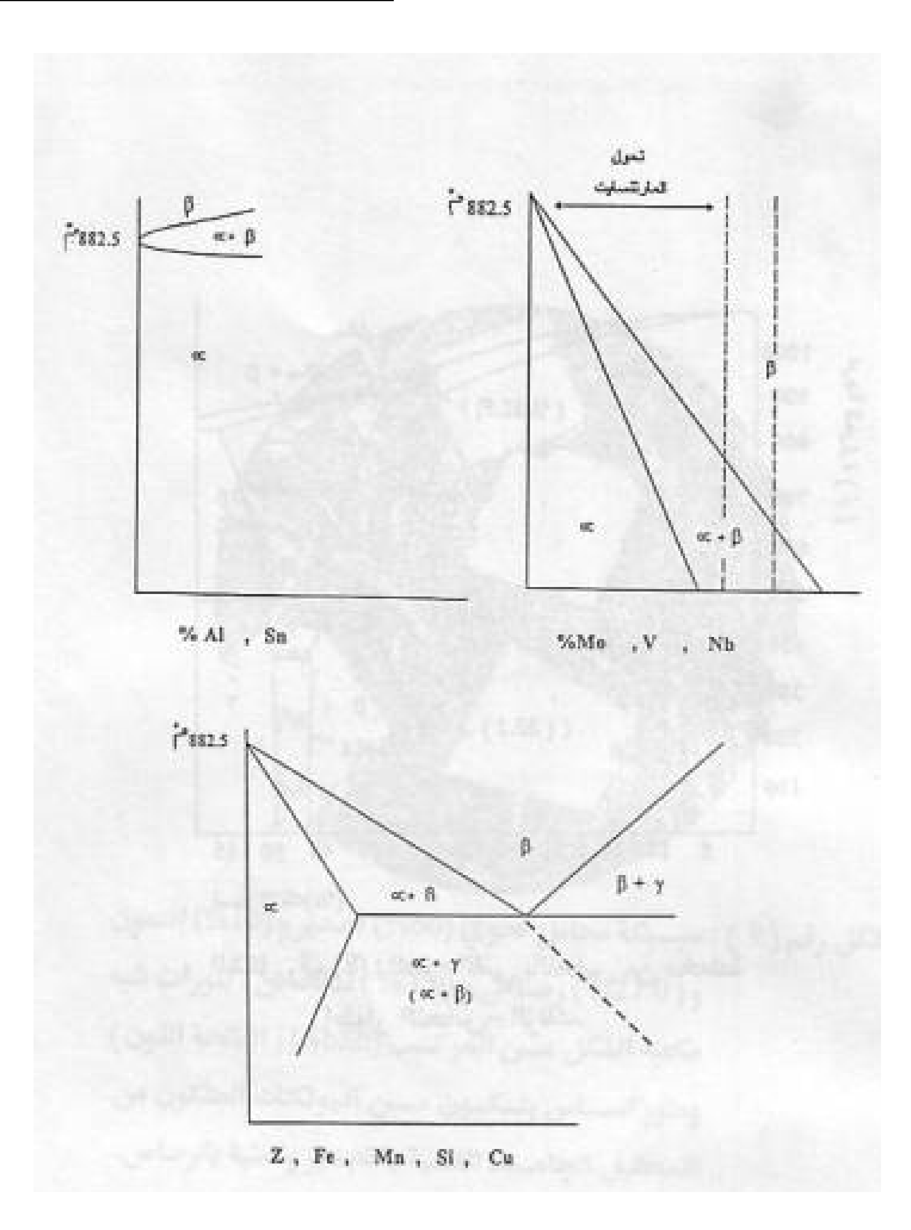
الشكل (4): تأثير السليكون على الخواص الميكانيكية لسبائك الألمنيوم ـ السليكون



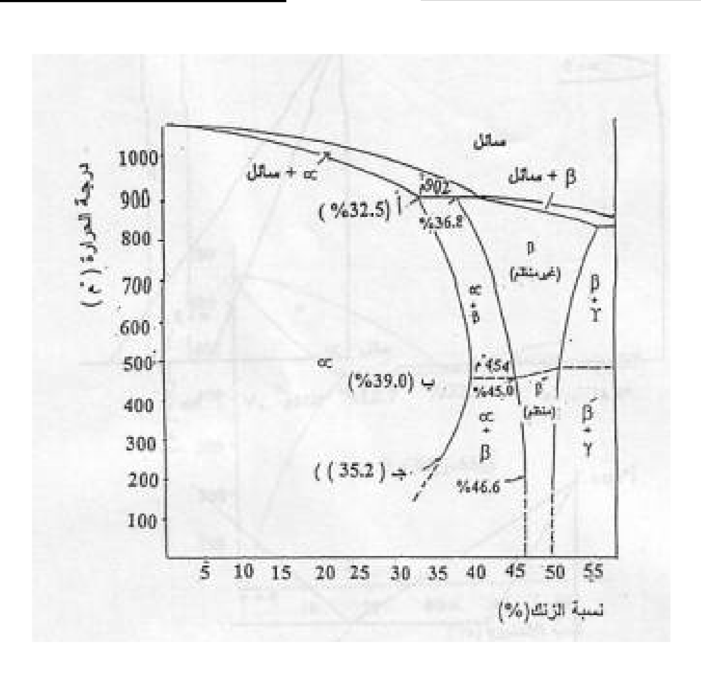
الشكل (5): الجزء الغني بالألمنيوم من مخطط أطوار الألمنيوم - المغنيسيوم



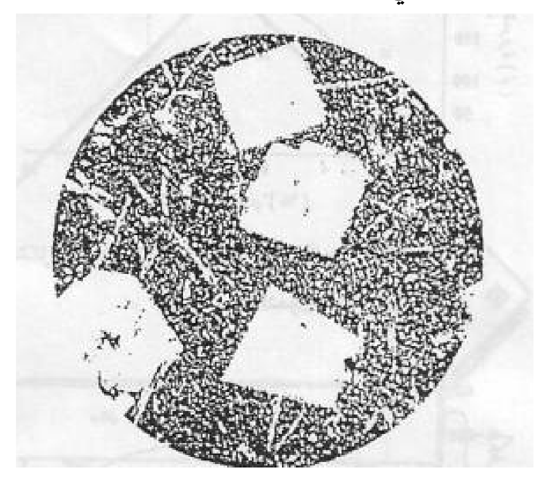
الشكل (6): الجزء الغني بالمغنيسيوم من مخطط أطوار المغنيسيوم - الألمنيوم



الشكل (7): تأثير عناصر السبك على درجة تحول ($\alpha \rightarrow \beta$) في سبائك التيتانيوم



الشكل (8): الجزء الغني بالنحاس من مخطط أطوار النحاس - الزنك

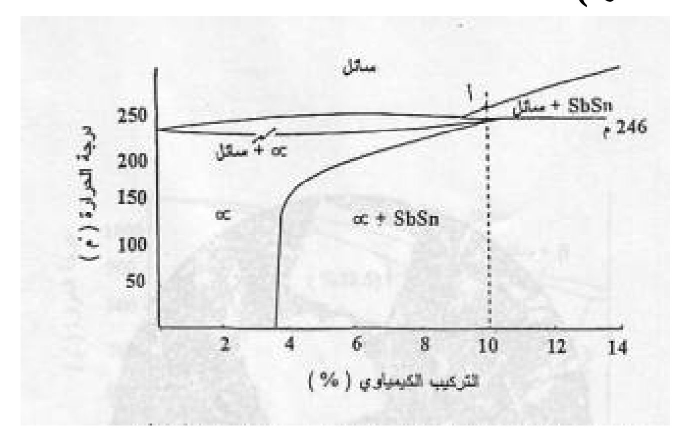


الشكل (9): سبيكة محامل تحوي (60%) قصدير و (10%) أنتمون و (27%) رصاص و (3%) نحاس . بلورات شبه مكعبة الشكل من المركب (sbsn)

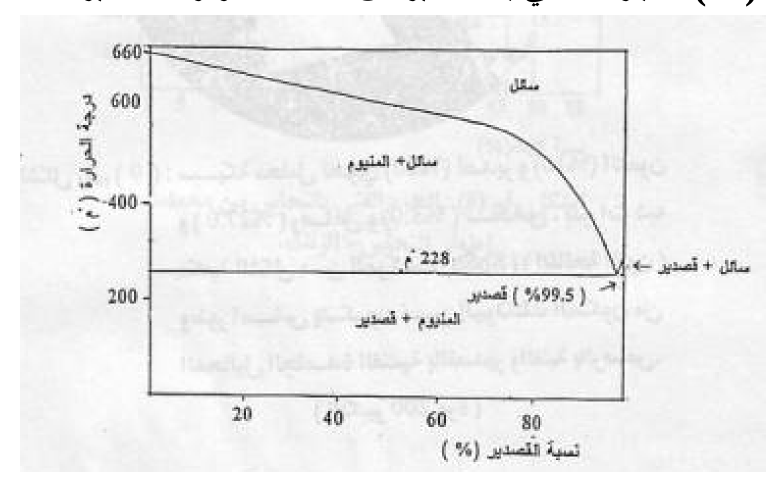
(الفاتحة اللون) وطور أساس يتكون من اليوتكتك المتكون من المحاليل

الجامدة الغنية بالقصدير والغبية بالرصاص

(التكبير 200 مرة)



الشكل (10): الجزء الغني بالقصدير من مخطط أطوار القصدير - الأنتمون



الشكل (11): مخطط أطوار الألمنيوم - القصدير

الجدول رقم (1) : الخواص الميكانيكية والتركيب الكيمياوي والمعاملات الحرارية لعدد من سبائك الألمنيوم المشكلة .

التركيب الكيمياوي%					المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكيه	
النحاس	المغنسيوم	السليكون	المغنيز	الحديد		مقاومة الخضوع نيوتن /ملم2	مقاومة الشد نيوتن /ملم2
-	0.4	0.3	-	-	1- مخمر	-	150
					2- المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً.	100	180
					3-المجانسة في (520 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في (170 مْ) لمدة عشر ساعات.	180	250
1.8	0.6	0.5	-	0.6	1- المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً.	150	310
					2- المجانسة في (530 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في درجة (170مْ) لمدة (20-10) ساعة.	295	385
3.9	0.2	0.5	0.4	-	1-المجانسة ثم الاصلاد	245	450

التركيب الكيمياوي%					المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكيه		
النحاس	المغنسيوم	السليكون	المغنيز	الحديد		مقاومة الخضوع نيوتن /ملم2	مقاومة الشد نيوتن /ملم2	
					بالأزمان طبيعياً .			
					2-الجانسة في (510 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في (170 مْ)لمدة عشرة ساعات.	375	510	
0.15	0.8	0.4	0.2	-	1-المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً.	115	215	
					2-المجانسة في (520 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في (170 مْ)لمدة عشرة ساعات .	235	300	
	0.5	0.7	0.4	-	1-مخمر.	-	155	17
					2-المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً.	117	220	17
					3-المجانسة في (510 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في درجة (170مْ) لمدة عشر ساعات .	250	325	8
	0.5	0.8	-	-	1-المجانسة في (525مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب	400	430	12

التركيب الكيمياوي%					المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكيه		
النحاس	المغنسيوم	السليكون	المغنيز	الحديد		مقاومة الخضوع نيوتن /ملم2	مقاومة الشد نيوتن /ملم2	
					في (170مْ) لمدة عشرة ساعات.			
	0.2	-	-	-	المجانسة في (495مْ) ثم الإخماد والأزمان في درجة حرارة الغرفة لمدة خمسة أيام	150	300	20
	0.4	0.2	0.4	0.7	المجانسة في (480 مْ) ثم الإخماد والأزمان في درجة حرارة الغرفة لمدة أربعة أيام.	275	400	10
	2.0	0.5	0.3	0.5	المجانسة في (465 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في درجة (120 مْ) لمدة (24 ساعة) .	580	650	11

الجدول رقم (2) : الخواص الميكانيكية والتركيب الكيمياوي والمعاملات الحرارية لعدد من سبائك الألمنيوم المسبوكة

التركيب الكيمياوي%					المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكيه		
S	Cu	Mg	Mn	Ni		صلادة روكويل (B)	مقاومة الشد نيوتن /ملم2	الا (
6	4-2	-	-	-	المجانسة في (520 مْ)	-	150	
					2- المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً.	100	180	
					3-المجانسة في (520 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في (170 مْ) لمدة عشر ساعات.	180	250	
1	0.6	0.5	-	0.6	1- المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً.	150	310	
					2- المجانسة في (530 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في درجـــــــة (170 مْ) لمدة (20-10) ساعة.	295	385	
3	0.2	0.5	0.4	-	1-المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً .	245	450	
					2-المجانسة في (510 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في (710 مْ)لمدة عشرة ساعات.	375	510	
0.	0.8	0.4	0.2	-	1-المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً.	115	215	
					2-المجانسة في (520 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالـتـرسيـب في (170 مْ)لمدة عشرة ساعات .	235	300	
	0.5	0.7	0.4	-	1-مخمر.	-	155	

التركيب الكيمياوي%					المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكيه		
	Cu	Mg	Mn	Ni		صلادة روكويل (B)	مقاومة الشد نيوتن /ملم2	الا (
					2-المجانسة ثم الاصلاد بالأزمان طبيعياً.	117	220	
					3-المجانسة في (510 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في درجة (175مْ) لمدة عشر ساعات .	250	325	
1	0.5	0.8	-	-	1-المجانسة في (525مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في (170مْ) لمدة عشرة ساعات.	400	430	
1	0.2	-	-	-	المجانسة في (495مْ) ثم الإخماد والأزمان في درجة حرارة الغرفة لمدة خمسة أيام.	150	300	
3	0.4	0.2	0.4	0.7	المجانسة في (480 مْ) ثم الإخماد والأزمان في درجة حرارة الغرفة لمدة أربعة أيام.	275	400	
1	2.0	0.5	0.3	0.5	المجانسة في (465 مْ) ثم الإخماد والاصلاد بالترسيب في درجة (120 مْ) لمدة (24 ساعة) .	580	650	

الجدول رقم (3) : الخواص الميكانيكية والتركيب الكيمياوي والمعاملات الحرارية لعدد من سبائك المغنسيوم المشكلة.

التركيب الكيمياوي(%)										المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكية			
	Mn	Zn	Zr	Th	Si	Cu	Ni	Fe	Ca		مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	مقاومة الخضوع (نيوتن /ملم2)	الاستطالة (%)	صا
3	0.2	1.0	-	-	0.1	0.05	0.005	0.005	0.04	1	259	154	23-17	

17	140	245	2	=	=	=	=	=	=	=	=	=
20	140	259	3	=	=	=	=	=	=	=	=	=
15	196	294	4	=	=	=	=	=	=	=	=	=
19-15	196	280	5	=	=	=	=	=	=	=	=	=
10	185	273	6	=	=	=	=	=	=	=	=	=
7	280	385	7	=	0.005	0.005	0.05	0.1	-	-	0.5	0.12
23	147	231	1	-	-	0.01	0.1	-	4-2	0.7	0.3	-
15-8	182	238	5	=	=	=	=	=	=	=	=	=
10	147	238	8	-	-	-	-	-	2.0	-	-	1.0
18	137	224	1	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-
12-8	165	252	5	=	=	=	=	=	=	=	=	=
11	301	364	7	-	-	-	-	-	-	0.45	5.5	-

الجدول رقم (4) : الخواص الميكانيكية والتركيب الكيمياوي والمعاملات الحرارية لعدد من سبائك المغنسيوم المسبوكة.

الخواص الميكانيكية				المعاملة الحرارية	التركيب الكيمياوي(%)								
صلا	الاستطالة (%)	مقاومة الخضوع (نيوتن /ملم2)	مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)		Ca	Fe	Ni	Cu	Si	Th	Zr	Zn	Mn

التركيب الكيمياوي(%)									المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكية			
Mn	Zn	Zr	Th	Si	Cu	Ni	Fe	Ca		مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	مقاومة الخضوع (نيوتن /ملم2)	الاستطالة (%)	صلا
0.15	4-2	-	-	0.3	0.25	0.01	-	-	م	2.3	98	6	
=	=	=	=	=	=	=	=	=	1	280	98	12	
=	=	=	=	=	=	=	=	=	2	203	98	5	
=	=	=	=	=	=	=	=	=	3	280	133	5	
0.13	0.6	-	-	0.3	0.1	0.01	-	-	1	280	98	12	
0.13	0.7	-	-	0.3	.01	0.01	-	-	م	168	98	2	
=	=	=	=	=	=	=	=	=	1	280	98	11	
=	=	=	=	=	=	=	=	=	3	280	133	4	
0.1	2.0	-	-	0.3	0.25	0.01	-	-	م	168	98	2	
=	=	=	=	=	=	=	=	=	1	280	98	10	
=	=	=	=	=	=	=	=	=	2	168	98	2	
=	=	=	=	=	=	=	=	=	3	280	147	2	
-	0.3	0.2	-	-	0.1	0.01	-	-	3	161	112	3	
-	0.3	0.70	-	-	0.1	0.01	-	-	2	161	112	1	

التركيب الكيمياوي(%)									المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكية			
Mn	Zn	Zr	Th	Si	Cu	Ni	Fe	Ca		مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	مقاومة الخضوع (نيوتن /ملم2)	الاستطالة (%)	صلا
=	=	=	=	=	=	=	=	=	3	175	126	3	
-	3-2	0.7	-	-	0.1	0.01	-	-	2	161	105	3	
-	0.3	0.7	4-2	-	0.1	0.01	-	-	4	210	105	8	
-	3-2	0.7	4-2	-	0.1	0.01	-	-	2	203	98	7	
0.15	5-3	0.7	-	-	0.1	0.01	-	-	2	210	140	3.5	
-	6-5	0.75	2-1	-	0.1	0.01	-	-	2	280	182	8	
-	6-4	0.75	-	-	0.1	0.01	-	-	2	280	182	8	
-	7-6	0.8	-	-	0.1	0.01	-	-	3	280	175	5	

الجدول رقم (5) : الخواص الميكانيكية والتركيب الكيمياوي والمعاملات الحرارية لعدد من سبائك التيتانيوم.

التركيب الكيمياوي (%)						المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكيه		
Al	Sn	V	Mo	Si	Zr		مقاومة الخضوع (نيوتن /ملم2)	مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	الا (
-	-	-	-	-	-	إزالة الجهود في (300-500 مْ	232	417	

التركيب الكيمياوي (%)						المعاملة الحرارية	الخواص الميكانيكيه		
Al	Sn	V	Mo	Si	Zr		مقاومة الخضوع (نيوتن /ملم2)	مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	الا
						)			
						التخمير في (650-700 مْ)	232	417	
-	-	-	-	-	-	التخمير في (805 مْ).	463	618	
						المجانسة في (805 م) ثم الإخماد في الماء ثم الاصلاد بالأزمان لمدة (8 ساعات).	364	618	
5.0	2.5	-	-	-	-	التخمير في (800-900 مْ) .	772	880	
6.0	-	4.0	-	-	-	التخمير في (700 مْ).	975	988	
						المجانسة في (850-950 مْ) ثم الإخماد في الماء والاصلاد بالأزمان لمدة ساعتين.	975	988	
4.0	2.0	-	4.0	0.5	-	المجانسة في (900 مْ) ثم التبريد في الهواء والاصلاد بالترسيب في (500 مْ) لمـــــدة (24 ساعة).	1000	1158	
2.25	11.0	-	1.0	0.2	5.0	كذا	100	1112	
2.25	11.0	-	4.0	0.2	-	المجانسة في (805-840 مْ) ثم التبريد في الهواء والاصلاد بالترسيب في (500 مْ) لمدة (24 ساعة).	1189	1313	

الا	الخواص الميكانيكيه		المعاملة الحرارية	التركيب الكيمياوي (%)						
	مقاومة الشد (نيوتن /ملم2)	مقاومة الخضوع (نيوتن /ملم2)		Zr	Si	Mo	V	Sn	Al	
	988	865	المجانسة في (1050 مْ) ثم الإخماد في الزيت والاصلاد بالترسيب في (550 مْ) لمدة (24 ساعة).	5.0	0.25	0.5	-	-	6.0	

الجدول رقم (13) : محامل المعادن البيضاء وخواصها وتراكيبها الكيمياوية.

الخواص والاستعمالات	الخواص الميكانيكية		التركيب الكيمياوي (%)			
	جهد الصمود (0.1%) (نيوتن /ملم2)	صلادة فيكرز في درجة(20مْ)	Pb	Sn	Cu	S
مقاومة انضغاط عالية. تستعمل تحت ظروف والسرع العالية ، المحامل الرئيسية في محر الطائرات والسيارات.	3.4	29.0	-	86.8	4.2	9
مقاومة ومطيلية عالية . تستعمل تحت ظرو العالي ودرجات الحرارة المرتفعة. محامل ه السيارات المسندة بصفائح الفولاذ.	2.5	27.0	-	89.3	3.2	7
أقل تكاليفاً من الأنواع السابقة ، إلا أنها أقل مطيلية. تستعمل تحت ظروف العمل المعتدل المحامل الرئيسية.	4.4	32.0	4.0	81.0	5.0	1(
تستعمل تحت ظروف السرع العالية والتحم العالي الساكن. محامل المضخات والأغراض العامة.	4.5	31.0	9.5	75.0	3.5	1
تستعمل في المولدات الكهربائية ومحركات القطارات.	4.1	27.0	28.0	59.0	3.0	1(

الخواص والاستعمالات	الخواص الميكانيكية		التركيب الكيمياوي (%)			
	جهد الصمود (0.1%) (نيوتن /ملم2)	صلادة فيكرز في درجة(20مْ)	Pb	Sn	Cu	S
محامل محركات القطارات ومكنات الحفر و والمولدات الكهربائية . يجب تصنيعها بالسب القوالب تحت الضغط ، حيث أنها تتعرض إ الانعزال في السباكة الرملية والسباكة بالدفع المركزي.	3.7	26.0	74.5	11.3	0.7	1
أقل تكاليفاً من النوع السابق . تستعمل تحت التحميل والسرع المعتدلة.	3.5	22.0	78.5	5.0	0.5	6
لمحامل المعدات المستعملة تحت سطح الما	-	-	30.0 زنك	68.5	1.5	
للمحامل التي تعمل تحت ظروف التحميل ال والسرع العالية وتحت درجات الحرارة المر	-	-	80.0	5.0	-	1

الجدول رقم (14) : الخواص الإجمـالـيـة لأهم أنــواع المحامل

ائك المحامل	بابيت قصديري (91.0%) قصدير (4.5%) نحاس (4.5%) أنتمون	بابيت رصاصي (75.0% رصاص (15.0%) أنتمون (10.0%) قصدير	محامل برونـزية (80%) نحـاس (10.0) قصدير (10.0) رصاص	محامل فضية مغطاة بطبقة رقيقة من الرصاص والأنديوم	محامل الألمنيوم (98.0%) ألمنيوم (1.0%) نحاس (1.0%) نيكل	محـامل التزي (89%) (10%) (1.0%) ـ
جهد الصمود (0.1%) وتن / ملم2) ي (20 مْ)	710×3.0	710×2.4	710× 10	-	710×11	0×9
ي (100مْ)	710×1.9	710×1.1	-	-	710×10	-
قاومة الكلال وتن / ملم2)	710×2.1	710×3.0 (710×2.0) دورة	-	-	710×6.2 (810×5.0) دورة	-
صيل الحراري ط /متر × مْ)	52.0	30.0	-	3750.0	180.0	-
6-10×	6-10×25.0	6-10×20.0	6-10×20.0	6-10×25.0	6-10×20.0	

...ائك المحامل	بابيت قصديري (91.0%) قصدير (4.5%) نحاس (4.5%) أنتمون	بابيت رصاصي (75.0% رصاص (15.0%) أنتمون (10.0%) قصدير	محامل برونزية (80%) نحاس (10.0) قصدير (10.0) رصاص	محامل فضية مغطاة بطبقة رقيقة من الرصاص والأنديوم	محامل الألمنيوم (98.0%) ألمنيوم (1.0%) نحاس (1.0%) نيكل	محامل التزي... (89%) (10%) (1.0%) ...

... جداً	جيد	متوسط	متوسط	ممتاز	جيد
223...	240.0	946.0	204.0 درجة الاستعمال القصوى	227.0	-
...تاز	جيد جداً	متوسط	جيد	جيد	جيد
10...	10.0	5.0	2.0	5.0	-

مصادر الكتاب

مصادر الكتاب العربية

1- النحاس وسبائكه، د. قحطان الخزرجي ، جامعة بابل، كلية الهندسة، 1997.

2- الألمنيوم وسبائكه، د. قحطان الخزرجي ، جامعة بابل، كلية الهندسة، 1992.

3- المعاملات الحرارية للمعادن والسبائك الحديديه واللاحديديه ، د. قحطان الخزرجي، جامعة بغداد، كلية الهندسه، 1989.

مصادر الكتاب الانكليزية

1-Eng. Materials Technology, W. Bolton, 3ed , British Library Cataloguing Pub.Data,1998.

2- Materials Science and Processes, R. B. Gupta, 8ed, New Delhi Sutya,1994.

3-Materials Science,R.S.Khurmi,R.S.Sedha ,S. Chand and Company ltd.,1989.

4-Fundamentals of Eng. Materials,P.A.Thornton and J.Colangelo,1985.

5-Physical Metallurgy, R.E.Smallman, Bulterworths, London, 1985.

6-Metallurgy for Engineers, E.C. Rolleson ,Fourth ed.,Edward Arnold,1980.

7-Leichtmetalle,T.Krist,Vogel-Verleg Wuerzburg,1969.